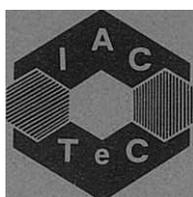


# QUADERNI

## dell'ASSOCIAZIONE ITALIANA DI CHIMICA TESSILE E COLORISTICA SEZIONE · CENTRO ITALIA

Palazzo dell'Industria  
Via Valentini, 14 - 59100 PRATO



### INTRODUZIONE ALLA COLORIMETRIA

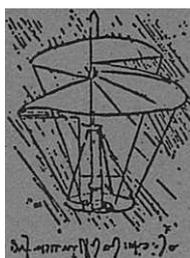
Lezioni tenute dal prof.

**CLAUDIO OLEARI**

Dipartimento di Fisica dell'Università di Parma

*In collaborazione con*

COLLEGIO DEI PERITI  
INDUSTRIALI DELLA  
PROVINCIA DI FIRENZE



# Q9

## Dicembre 1995

**aL** CASSt  
DIRJSIMMIO  
DI WCCA S.p.A



# SEZIONE CENTRO ITALIA

## **Consiglio 1994 - 95**

Falco Di Medio (delegato), Rodolfo Nistri (vicedelegato), Piero Scuncia (vicedelegato), Alessandro Giachetti (segretario), Stefano Panconesi (tesoriere); consiglieri: Giuseppe Bartolini, Katia Betti, Enrico Ciapini, Antonio Mauro, Riccardo Ovazza, Piero Sanesi; membri aggiunti: Manuel Becheroni, Serena M. Benincà, David Cirri, Piero Crescini, Domenico Dormendo Benelli, Luigi Gestri, Nicola Giuffrida, Pietro Guerrini, Paolo Maselli, Paolo Menici, Massimiliano Risaliti, Alessandro Santi, Andrea Vezzosi, Guido Zoni

## **Revisori**

Brunetto Conti, Peraldo Degl'Innocenti

# QUADERNI

Periodico annuale della Sezione Centro Italia

## **Direttore responsabile**

Antonio Mauro

## **Comitato di redazione**

Alessandro Giachetti, Antonio Mauro, Stefano Panconesi

## **Composizione testi**

Agenzia Verde s.n.c. - Via S. Vai, 16 - 59100 Prato - Tel. 0574 / 575157

## **Stampa**

Baroni & Gori Tipografia s.n.c. - Via O. Vannucchi, 5 - 59100 Prato  
Tel. 0574 / 591315

Tiratura 600 copie. I non iscritti alla Sezione Centro Italia possono farne richiesta alla segreteria della sezione

# INTRODUZIONE ALLA COLORIMETRIA

## *Lezioni tenute dal prof. Claudio Oleari*

### INDICE

<p>Elementi di ottica finalizzati alla colorimetria: onda e fotone; polarizzazione</p>	<p>37</p>
<hr/>	
<p>Riflessione, rifrazione, legge di Snell, angolo limite</p>	<p>11</p>
<hr/>	
<p>Assorbimento, legge di Lambert-Beer          "scattering" della luce: legge di Rayleigh, analisi di Kubelka-Munk (accenni),</p>	<p>11</p>
<hr/>	
<p>Modi di presentazione di un colore ed attributi dei colori</p> <p>La radianza</p> <p>Eguagliamento dei colori ("Colour matching")</p> <p>Struttura dell'occhio umano e della retina</p> <p>Fotorecettori, caratteristiche dei pigmenti, attivazione dei fotorecettori, principio dell'univarianza di Rushton, stimoli di colore</p> <p>Leggi di Grassmann, Spazio del Tristimolo, "Equal energy stimulus", "Colour matching functions" e</p> <p>Sensibilità spettrale relativa, Luminanza e Legge di Abney</p> <p>Sistema colorimetrico standard CIE 1931: (R,G,B) e (X,Y:Z)</p> <p>Osservatore CIE 1931 modificato da Judd-Vo:s(X',Y',Z') e (L,M,S)</p> <p>Teoria di Hering dei colori opponentesi</p> <p>Sistema colorimetrico standard supplementare CIE 1964</p> <p>Illuminanti, sorgenti di luce ed illuminanti Standard</p> <p>Adattamento cromatico e "colour constancy"</p> <p>Legge di Weber-Fechner</p> <p>Discriminazione di colore e scale dello spazio del tristimolo</p> <p>Sistema OSA-ucs</p> <p>Luminanza e Chiarezza (Brightness<sup>n</sup> e Lightness<sup>n</sup>)</p> <p>Il colore a scala uniforme (ucs) CIE 1976: (L*, a*, b*), (L*, u*, v*)</p> <p>Formule per differenze di colore: CIELAB, CMC, BFD, CIE</p>	<p>11</p>
<hr/>	
<p><b>MISURA STRUMENTALE DEL COLORE</b></p>	
<p>Visione a colori dell'uomo e misura strumentale del colore, fattore di riflettanza</p>	<p>11</p>
<hr/>	
<p>Calcolo del vettore tristimolo da misure spettrofotometriche</p> <p>Colori autoluminosi</p>	<p>11</p>
<hr/>	
<p>Illuminanti e resa del colore ("Color rendering")</p>	<p>11</p>

f g g



Sistema di colori DIN, Sistema dei colori naturali (NCS),  
Sistema della Società Americana di Ottica (OSA), Sistema Coloroid, Sistemi basati sugli spazi CIE, .....

:m@t#  
rnfjff

APPENDICE ATEATICA

Trasformazioni lineari sul piano cartesiano.....



**Prof. CLAUDIO OLEARI\***

Claudio Oleari è nato nel 1944, si è laureato in Fisica all'Università di Padova nel 1969 con punti 110/110. Vincitore di Borsa di Studio CNEN e CNR dal 1969 al 1973. Dal 1973 al 1981 è stato Professore Incaricato di Chimica Quantistica. Dal 1981 ad oggi è stato Professore Associato di Fisica Teorica, di Chimica Fisica, ed infine di Fisica Generale. La ricerca dal 1969 al 1986 è stata rivolta agli aspetti matematici della fisica con particolare attenzione alla teoria dei gruppi quale strumento per formalizzare matematicamente le leggi fisiche.

Dal 1986 ad oggi si è occupato di Colorimetria e di Visione. In particolare si è occupato

- di Metamerismo, dando a questo fenomeno una formalizzazione in termini di teoria dei Gruppi
- di trasformazioni idonee a rendere uniformi le scale cromatiche per l'osservatore CIE 1931 ottenendo accordo con le ellissi di Macadam
- di trasformazioni idonee a rendere uniformi le scale dello spazio del colore per l'osservatore CIE 64 in accordo col sistema di colori della Società di Ottica Americana (OSA-ucs)
- di applicazioni nell'ambito dei monitor tricromatici

Le sue pubblicazioni più significative nella colorimetria sono:

"Metamerism", *Il Nuovo Cimento*, **2**, 979 (1987)

"Uniform-scale chromaticity diagram with angular coordinates in zero-curvature space", *Journal of the Optical Society of America*, **A8**, 415 (1991)

"Uniform-color space for 10° visual field and OSA uniform-color scales", *Journal of the Optical Society of America*, **A10**, 1490 (1993)

"Uniform-Colour Space for Colour Displays", *The Journal of Photographic Science*, **43**, 24 (1995)

\* Attuale indirizzo: UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PARMA, Dipartimento di Fisica "Macedonio Melloni"  
Viale delle Scienze • 43100 PARMA  
Tel. (0521) 905222 • Fax (0521) 905223 • Telex 530327 unipr I  
E-mail: user@fisica.unipr.it

## INTRODUZIONE ALLA COLORIMETRIA

La colorimetria nasce dalla confluenza di più discipline: l'ottica, la fisiologia, la psicologia ed oggi anche l'ingegneria, dato il ruolo applicato che la colorimetria ha assunto. La colorimetria è anche disciplina antica: nell'antichità, come tutte le discipline, sconfinava nella filosofia e, nelle botteghe artigiane, si identificava in ricette che oggi ci affasciano. La colorimetria non può essere disgiunta dal fenomeno della visione, nel quale affonda le sue radici. La visione è un complicato processo di trasduzione ed elaborazione che inizia con l'assorbimento di energia radiante di opportuna lunghezza d'onda da parte dei fotorecettori della retina dell'occhio e coinvolge l'attività di molta parte del sistema nervoso. Le sensazioni di colore sono uno dei risultati di questo processo che da sempre ha affascinato l'uomo. Solo con Newton, alla fine del 1600, si impostano le basi strettamente ottiche di questa disciplina. La fisiologia della

visione entra in campo solo più tardi, nel 1800. In questo secolo, in un susseguirsi di intuizioni profonde sulla fisiologia della visione (Young, 1802) e sulla formalizzazione matematica (Grassman, 1853) si pongono le condizioni per cui Maxwell (1860), definendo ed attuando la misura del colore, rende questa disciplina pienamente scientifica. Ma quel tempo vi sono ancora ipotesi non provate che riguardano la fisiologia, inoltre la fenomenologia della visione pone dibattute problematiche ancora storiche: la controversia Helmholtz-Hering è rimasta aperta per molti decenni e solo ultimamente può ritenersi risolta.

Nel 1920 anche Schroedinger si occupa di colorimetria e di visione e con il suo lavoro pone le basi del riferimento usato nel 1931 per definire il primo standard colorimetrico. Ed inoltre, con le sue proposte, condiziona ancor oggi tutta la ricerca sulla metrica dello spazio del colore. La colorimetria non si è fermata sulle basi di Maxwell ma ha proceduto per fasi successive non ancora concluse. Le varie fasi hanno nomi propri che chiamano le opera-

zioni o le grandezze che le caratterizzano: usando la terminologia in lingua inglese, la prima fase, posta operativamente da Maxwell, viene chiamata "colour matching", quella successiva "colour difference" ed infine l'ultima "colour appearance". Tali fasi pur apparentemente diverse hanno grande sovrapposizione e per buona parte non sono concluse. Probabilmente la loro chiusura sarà simultanea perché corrisponderà alla comprensione del fenomeno della visione nella sua completezza. Queste lezioni si suddividono in più parti:

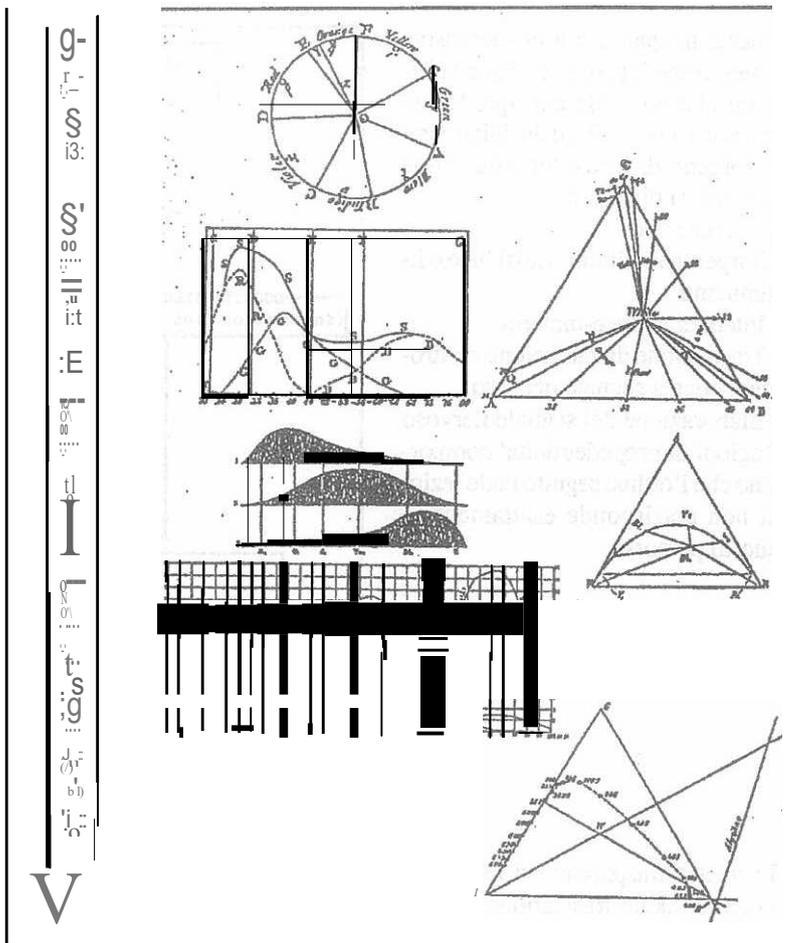
- 1) "Natura della Luce ed Interazione con la Materia", in cui si richiamano gli elementi di ottica indispensabili per entrare nella "Fisica del Colore" e per conoscere lo spettrofotometro, lo strumento principale della colorimetria;
- 2) "Lo Spazio del Tristimolo" ed il "Colour Matching" in relazione alla fisiologia del sistema visivo;
- 3) La "Colour difference", l'"Adattamento Cromatico", la "Colour Constancy" in relazione alla "teoria dei Colori Opponentesi" ed ai siste-

mi colorimetrici CIE LUV e CIE LAB, e le "Formule per la Differenza di Colore";

4) la "Misura Strumentale del Colore";

5) "Sorgenti di luce, Illuminanti e Resa dei Colori";

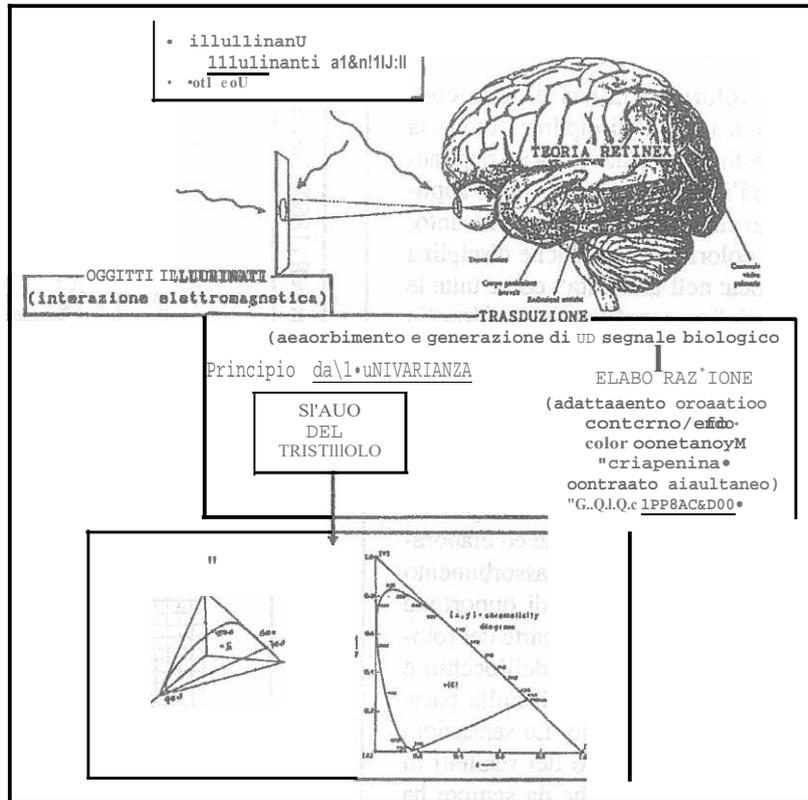
6) "Sistemi Ordinati di Colore" analizzati sulla base dei principi loro ispiratori. In queste lezioni si fanno brevissimi richiami alla storia della colorimetria per evidenziare il travaglio di questa disciplina ormai secolare e per far comprendere che molte delle difficoltà incontrate da chi si avvicina a questa disciplina sono di origine storica. Sono convinto che oggi sia possibile fare un percorso più lineare, quello qui proposto. La prima trasparenza, che può considerarsi la "copertina" del corso, riproduce i diagrammi di cromaticità proposti da Newton (1704), da Maxwell (1860), da Helmholtz (1896) e da Koenig-Schroedinger (1920), che sono la base concettuale per la definizione dell'"osservatore standard" introdotto nel 1931 dal sistema colorimetrico della "Commission International de l'Eclairage" (CIE).



Questa trasparenza e la successiva sintetizzano il percorso di queste elezioni che coincide con quello del processo visivo il quale inizia con le sorgenti di luce e termina con le sensazioni di colore.

Le tappe sono:

- Sorgenti autoluminose di luce illuminanti
  - Interazione luce-materia
  - Trasduzione da radiazione elettromagnetica a segnale nervoso
  - Elaborazione del segnale nervoso
- Ragioni di propedeuticità comportano che l'ordine seguito nelle lezioni non corrisponde esattamente a questo percorso.



In questa trasparenza si associa al processo della trasduzione (dovuta ai coni e bastoncelli) la costruzione dello spazio del tristimolo corrispondente, in colorimetria, alla fase del "colour matching", mentre all'elaborazione attuata nello strato di cellule sottostanti (cellule orizzontali) sono associati quei processi che hanno portato alle altre due fasi della colorimetria, la "colour difference" e la "colour appearance".

