



Collegio dei Periti Industriali e  
dei Periti Industriali Laureati  
della Provincia di Vicenza



Sabato 27 maggio 2017

**Colorimetria Tristimolus  
applicata  
all'industria conciaria**



ORDINE INTERPROVINCIALE  
DEI CHIMICI DEL VENETO



Comune di  
Montorso Vicentino

**Dott. Lovato Massimo**



- **SPETTRO ELETTROMAGNETICO**
  
- **COLORIMETRIA IN CHIMICA ANALITICA**
  
- **COLORIMETRIA APPLICATA ALL'INDUSTRIA (conciaria, tessile, automobilistica, ecc...)**
  - **COLORI FLUORESCENTI (CENNI)**
  - **CANDEGGIANTI OTTICI (CENNI)**
  - **SPETTROFOTOMETRI**

# SPETTRO ELETTROMAGNETICO

**Spettro e.m. : insieme delle radiazioni, ognuna caratterizzata da  $\lambda$  e  $\nu$  (inversamente proporzionali fra loro)**

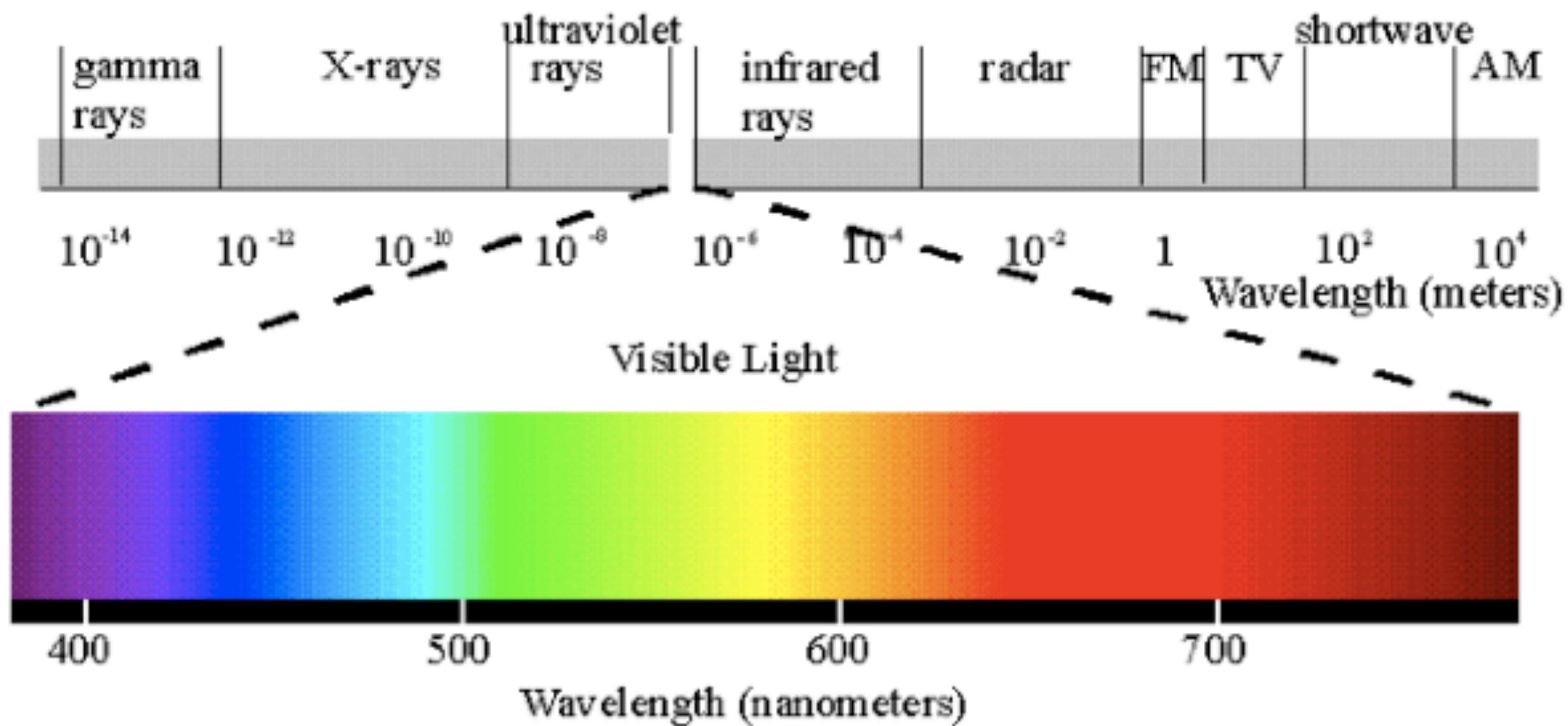
$$\nu \propto \frac{1}{\lambda}$$

**Energia legata alla frequenza:**

$$E = h \cdot \nu$$

**Campo visibile: da 0,4  $\mu\text{m}$  (ma per qualcuno da 0,36  $\mu\text{m}$ : luce UV) a 0,75  $\mu\text{m}$ . Si considera "luce" la parte "visibile" dello spettro.**

**Lo spettro è suddiviso in diverse zone (senza limiti netti)**



▪ **Raggi cosmici**

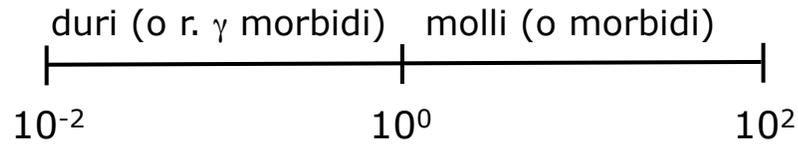
$$\lambda < 10^{-4} \text{ \AA} \quad (10^{-14} \text{ m})$$

▪ **Raggi  $\gamma$  (duri)**

$$10^{-4} \text{ \AA} \div 10^{-2} \text{ \AA} \quad (10^{-5} \div 10^{-3} \text{ nm})$$

▪ **Raggi X**

$$10^{-2} \text{ \AA} \div 10^2 \text{ \AA} \quad (10^{-3} \div 10 \text{ nm})$$

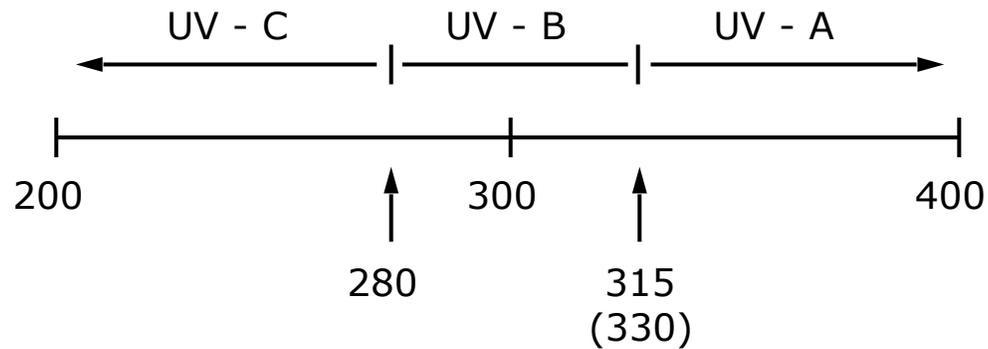


▪ **Far UV**

$$10 \text{ nm} \div 200 \text{ nm}$$

▪ **Near UV**

$$200 \text{ nm} \div 400 \text{ nm}$$



**1 nm = 10 \AA**  
**1 pm = 10<sup>-12</sup> m (300 EHz)**  
**UV-C : 10 nm  $\div$  280 nm**

▪ **VIS (onde ottiche)**

$$400 \text{ nm} \div 750 \text{ nm}$$

▪ **Near IR (NIR)**

**0,75  $\mu\text{m}$   $\div$  2,5  $\mu\text{m}$**

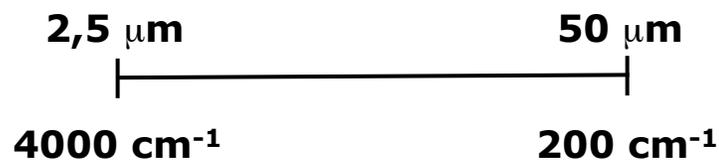
**1  $\mu\text{m}$  = 1000 nm**

▪ **Middle IR (o IR fondam.)**

**2,5  $\mu\text{m}$   $\div$  50  $\mu\text{m}$**

**n° onda:  $\bar{\nu} = 1/\lambda$  ( $[\text{L}^{-1}]$ )**

$$\bar{\nu} = \frac{10000}{\lambda} \quad \begin{array}{l} \lambda \text{ in } \mu\text{m} \\ \bar{\nu} \text{ in } \text{cm}^{-1} \end{array}$$



**per comuni spettri IR: 4000  $\div$  666  $\text{cm}^{-1}$  (15  $\mu\text{m}$ )**

▪ **Far IR**

**50  $\mu\text{m}$   $\div$  1000  $\mu\text{m}$  (0,05  $\div$  1 mm)**

**(rad. TeraHz o raggi T / onde submillimetriche)**

- **Microonde**  $1000 \mu\text{m} \div 1 \text{ m}$  ( $0,1 \div 100 \text{ cm}$  /  $10^{-3} \div 1 \text{ m}$ )
- **Onde radio / TV**  $1 \text{ m} \div 1000 \text{ m}$  (radiofrequenze sino a 100 km)

banda		$\lambda$	$\nu = \frac{c}{\lambda}$
<b>EHF</b>	<b>11</b>	<b>1 – 10 mm</b>	<b>300 – 30 GHz</b> (banda millimetrica o mmW)
<b>SHF</b>	<b>10</b>	<b>1 – 10 cm</b>	<b>30 – 3 GHz</b> (banda centimetrica)
<b>UHF</b>	<b>9</b>	<b>10 – 100 cm</b>	<b>3000 – 300 MHz</b> (banda decimetrica: <i>forni microonde / TV</i> )
<b>VHF</b>	<b>8</b>	<b>1 – 10 m</b>	<b>300 – 30 MHz</b> (banda metrica; ultracorte: <i>radio FM / TV</i> )
<b>HF</b>	<b>7</b>	<b>10 – 100 m</b>	<b>30 – 3 MHz</b> (banda decametrica: <i>radioamatori</i> )
<b>MF</b>	<b>6</b>	<b>100 – 1000 m</b>	<b>3000 – 300 KHz</b> (banda ettometrica: <i>radio AM</i> )
<b>LF</b>	<b>5</b>	<b>1 – 10 km</b>	<b>300 – 30 KHz</b> (banda chilometrica)
<b>VLF</b>	<b>4</b>	<b>10 – 100 km</b>	<b>30000 – 3000 Hz</b> (onde miriametriche)

**Banda N :  $0,3 \cdot 10^N \div 3 \cdot 10^N$  Hz (N  $\in$   $\mathbb{N}$ )**

**ULF    3            100 – 1000 km                            3000 – 300 Hz**

**SLF    2            1000 – 10000 km            300 – 30 Hz**

**ELF    1             $10^4$  –  $10^5$  km            30 – 3 Hz**

**in genere udibili  
tra 20 Hz e 20 KHz  
(se sonore)**

**5 + 6 + 7 + 8 → onde Hertziane**

**4 + 5 + 6 + 7 + 8 → radioonde**

**9 + 10 + 11 → microonde**

**Exa    Peta    Tera    Giga    Mega    Kilo**  
 **$10^{18}$     $10^{15}$     $10^{12}$     $10^9$     $10^6$     $10^3$**

**Atto    Femto    Pico    Nano    Micro    Milli**  
 **$10^{-18}$     $10^{-15}$     $10^{-12}$     $10^{-9}$     $10^{-6}$     $10^{-3}$**

**Meno usate: Zetta ( $10^{21}$ ) e Yotta ( $10^{24}$ ); Zepto ( $10^{-21}$ ) e Yocto ( $10^{-24}$ )**

**Bande 1 ÷ 4 :  $\nu$  uguale a quelle delle onde sonore (però sono onde meccaniche: vibrazioni dell'aria)**

**Bassissime frequenze (ELF, SLF) trovano uso nelle comunicazioni con i sottomarini perché l'attenuazione segue la frequenza:**

$$A = k \cdot \nu$$

**Ma la quantità di informazione trasportata è molto bassa poiché:**

$$Q = k' \cdot \nu$$

**Segnali ELF trovano applicazione in fisioterapia (magnetoterapia a bassa freq.)**

**Segnali VHF:- FM 88 – 108 MHz**

- magnetoterapia ad alta freq.
- qualche canale TV, aeronautica civile

## **Segnali UHF:- canali TV**

- telefoni cellulari**
- reti wireless**
- forni a microonde domestici**
- aeronautica militare**

**0,3 ÷ 3 GHz → 100 ÷ 10 cm**

**Ad es: • GSM 1,8 GHz**

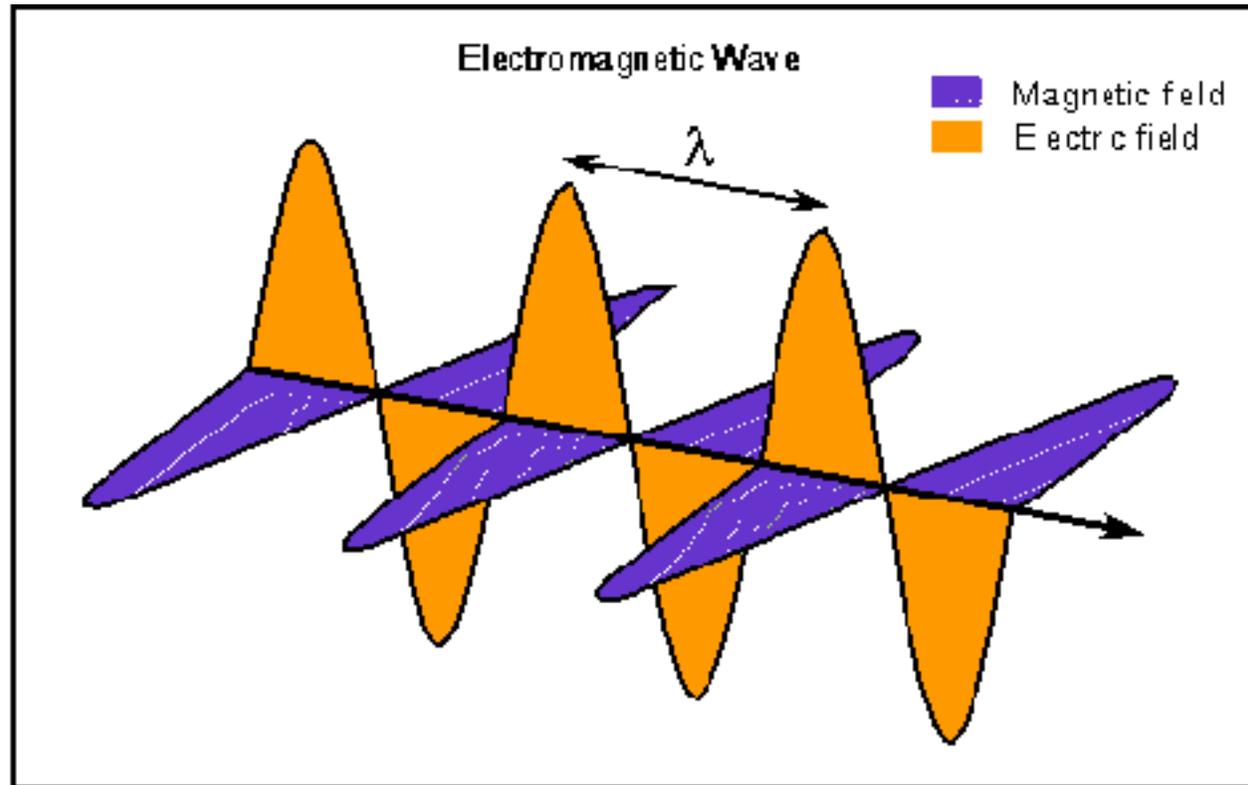
- fornetti microonde 2,45 GHz**

$$E_{TOT} = E_t + E_r + E_v + E_{el} + E_{nucl}$$

- comunicazioni satellitari (attraversano atmosfera senza interferenze e trasportano molta informazione)**

**Onde e.m. predette da Maxwell (equazioni del 1864), dimostrate da Hertz (onde radio) ed ulteriormente studiate da molti altri (Tesla, Marconi, Morse, Thomson / Lord Kelvin, Rayleigh, ecc...)**

**Onda e.m. = campi elettrico ( $\vec{E}$ ) e magnetico ( $\vec{B}$ ) oscillanti (in fase e normali tra loro) trasversalmente rispetto alla direzione dell'onda**



**Valgono le relazioni seguenti:**

$$\text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\text{rot } \vec{B} = \mu_0 \left( \vec{J} + \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)$$

$\vec{J}$  = densità di corrente

**Luce linearmente polarizzata:**  $\vec{E}$  giace sempre sullo stesso piano (quindi anche  $\vec{B}$  è polarizzato, ma sul piano normale)

**Luce bianca:** insieme, non polarizzato, di un gran numero di  $\nu$  luminose, ognuna singolarmente polarizzata.

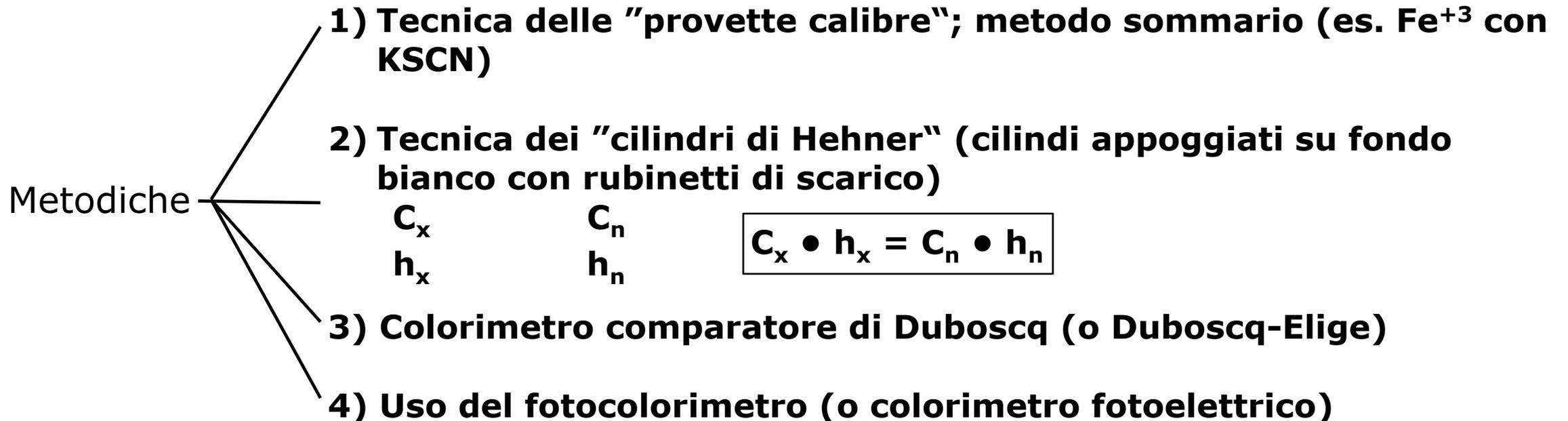
**Campo elettrico**  $\rightarrow E = E_0 \cdot \cos(2\pi\nu t)$  eq. generale della radiazione e.m.

$$\bar{\nu} = \frac{\nu}{c} = \frac{1}{\lambda}$$

**Energia**  $\rightarrow E = h \cdot \nu \rightarrow \bar{\nu} = \frac{E}{h \cdot c}$

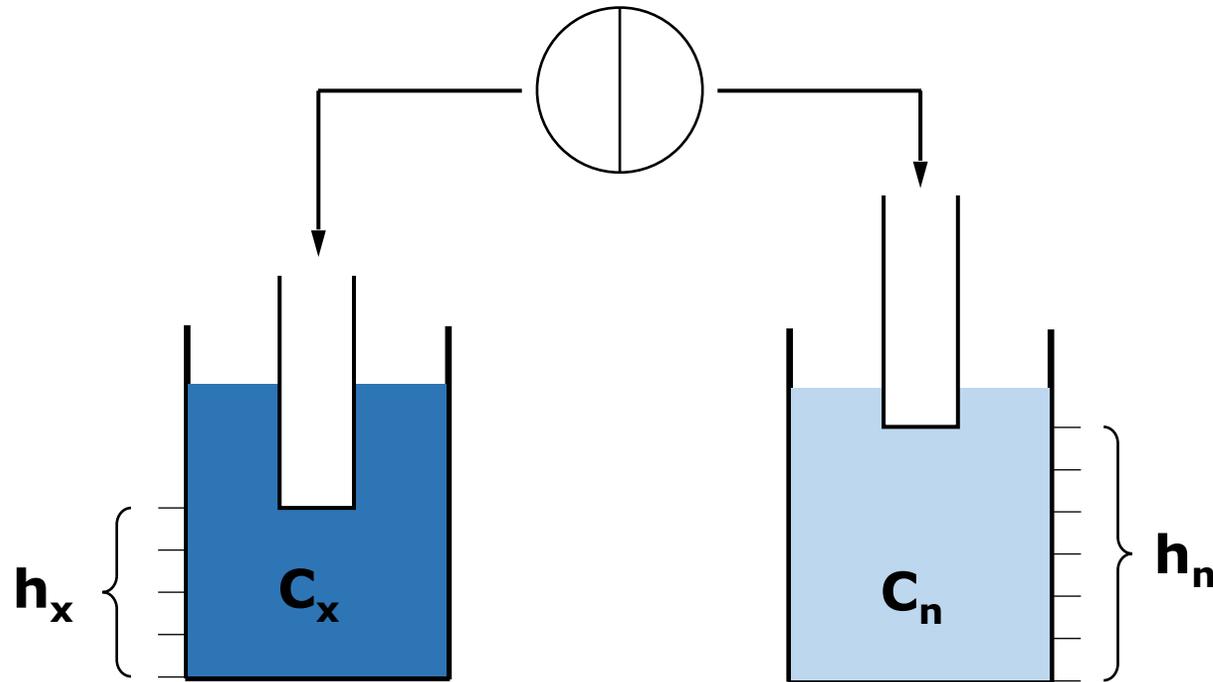
# COLORIMETRIA in CHIMICA ANALITICA QUANTITATIVA

- Risultati non molto accurati, ma rapidità di esecuzione
- Intensità di colore (unitamente allo spessore interessato) ==> concentrazione
- Date molecole (o ioni) trattati con opportuni reagenti danno vita a complessi colorati e solubili
- Uso di soluzioni diluite (intensità di colore / conc. = costante)



# Colorimetro di Duboscq

oculare diviso in 2 campi



$$C_x \cdot h_x = C_n \cdot h_n$$

fonte luminosa policromatica  
(luce bianca)

## Fotocolorimetro

- Luce policromatica resa quasi monocromatica con filtri
- Luce quasi monocromatica fatta passare attraverso il campione (vaschetta)
- Raggio attenuato dall'assorbimento del campione
- Cellula fotoelettrica trasforma il segnale da luminoso ad elettrico (corrente)

$$I_{el} \propto I_{lum} \propto T$$
$$T = \frac{I_{lum}}{I_0}$$
$$D = \frac{I_0}{I_{lum}}$$

opacità

**Sorgente:** lampade a filamento di W o più moderne (comunque dotate di stabilizzatori per avere I costante); deve emettere in continuo su tutto il visibile

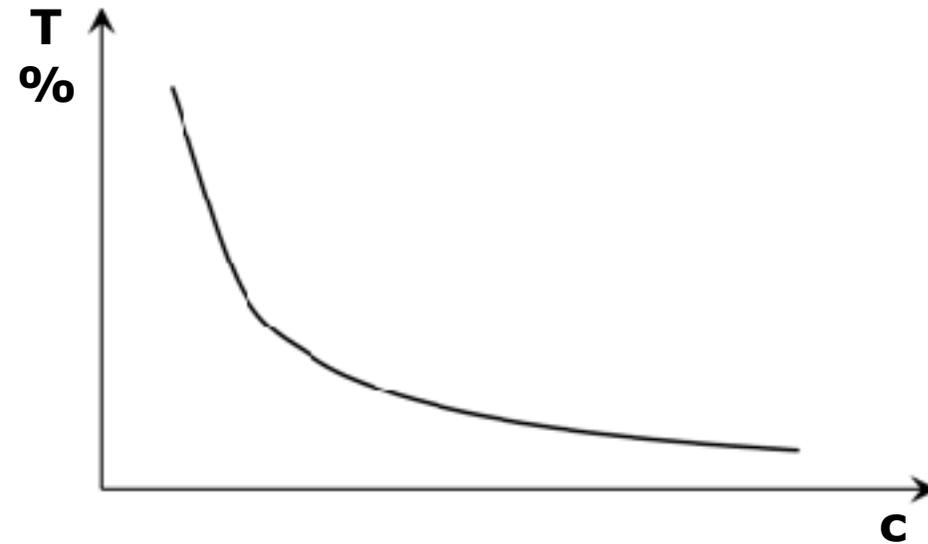
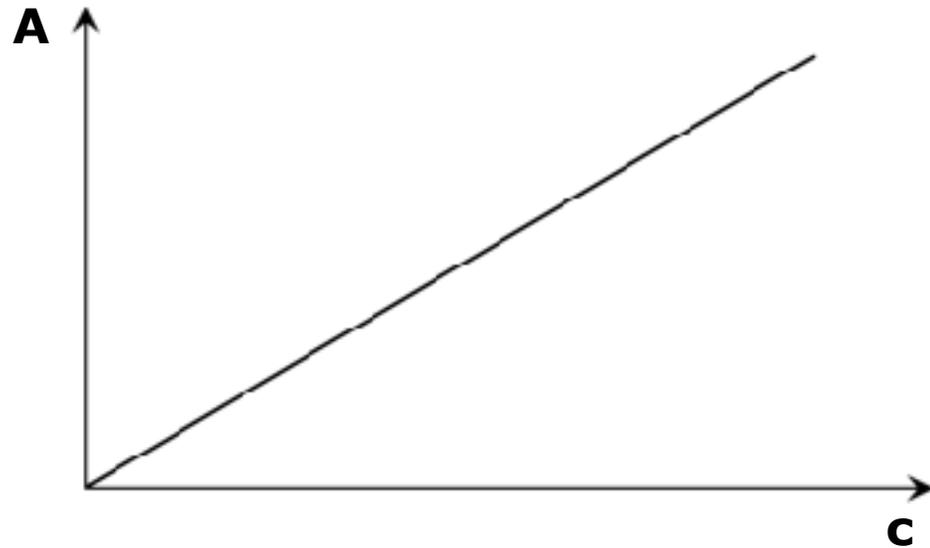
**Filtri:** a base organica o inorganica (es. pellicole di gelatina colorate o vetro colorato); isolano bande strette  $40 \div 50 \text{ \AA}$  (praticamente monocromatiche)

**Vaschette:** in puro vetro di quarzo (senza assor.) – parallelepipedo o cilindriche  
– cammino ottico 10 ÷ 50 mm – esistenza di portavaschette per analisi in serie

**Apparecchi di ricezione:** cellule fotoelettriche o fototubi. La radiazione provoca emissione di  $e^-$  (eff. fotoelettrico) e quindi una corrente misurabile ( $\propto$  ad  $I_{lum}$ )

**Esecuzione analisi:** - metodo per confronto  $C_x = C_n \cdot \frac{A_x}{A_n}$

- metodo della curva di taratura



**Spettrofotometro:** monocromatore al posto del filtro; esso seleziona una certa  $\lambda$  al posto di una banda ristretta. A seconda della sorgente si ha UV-vis, IR, ecc...

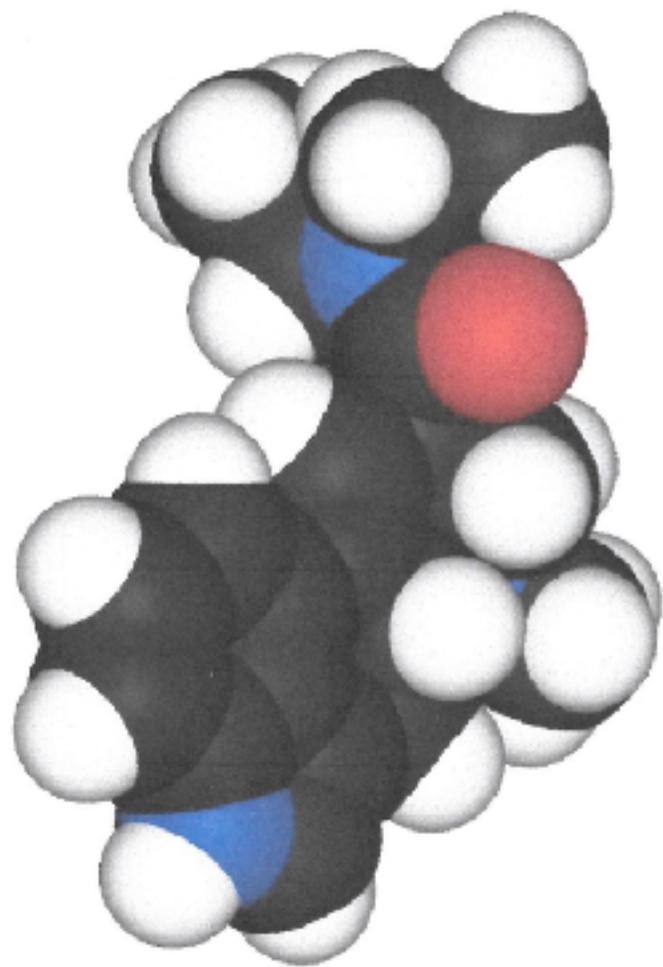
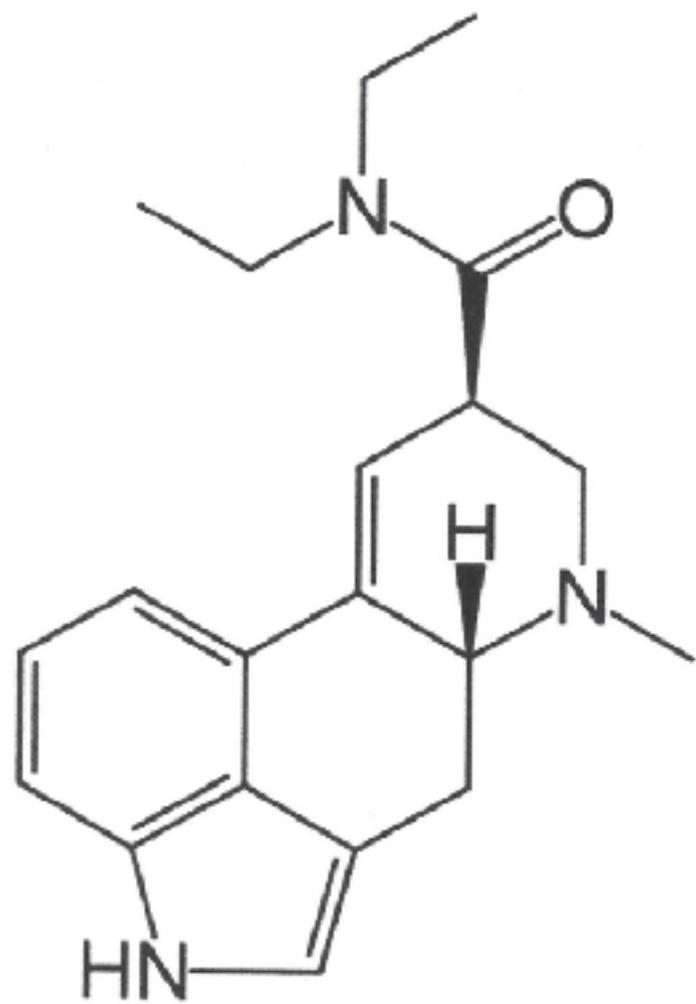
# **COLORIMETRIA APPLICATA (all'industria TESSILE, CONCIARIA, AUTOMOBILISTICA, ecc...)**

**Colore:** sensazione visiva che il cervello percepisce quando l'occhio viene stimolato da radiazione E.M. con  $400 \text{ nm} < \lambda < 700 \text{ nm}$  (chiamata comunemente "luce")

La percezione del colore coinvolge la fisica, la fisiologia e la psicologia ed è un fenomeno estremamente "soggettivo".

**Colorimetria:** nata per "sottrarsi" dal giudizio soggettivo, introducendo metodi "oggettivi" di misura (si esprime il colore in numeri)

Nel caso più generale si usa una terna di valori X, Y e Z: si parla di "*colorimetria tristimolus*".



## Fondamenti di colorimetria

**Per giungere alla percezione del colore sono necessarie 3 cose:**

- 1) Un oggetto avente un proprio colore**
- 2) Una lampada per illuminare l'oggetto in esame**
- 3) Il sistema occhio-cervello dell'osservatore**

**Il colore inteso fisicamente viene determinato dalla cosiddetta "curva di riemissione" dell'oggetto stesso**

**$\lambda$  → lungh. d'onda della radiazione incidente**

**$I_{i\lambda}$  → intensità raggio incidente**

**$I_{r\lambda}$  → intensità raggio riflesso**

**Una parte viene assorbita, una parte riemessa (talvolta parte viene trasmessa attraverso l'oggetto)**

**Riflessione (o riflettanza):**  $R_{\lambda} = \frac{I_{r\lambda}}{I_{i\lambda}}$

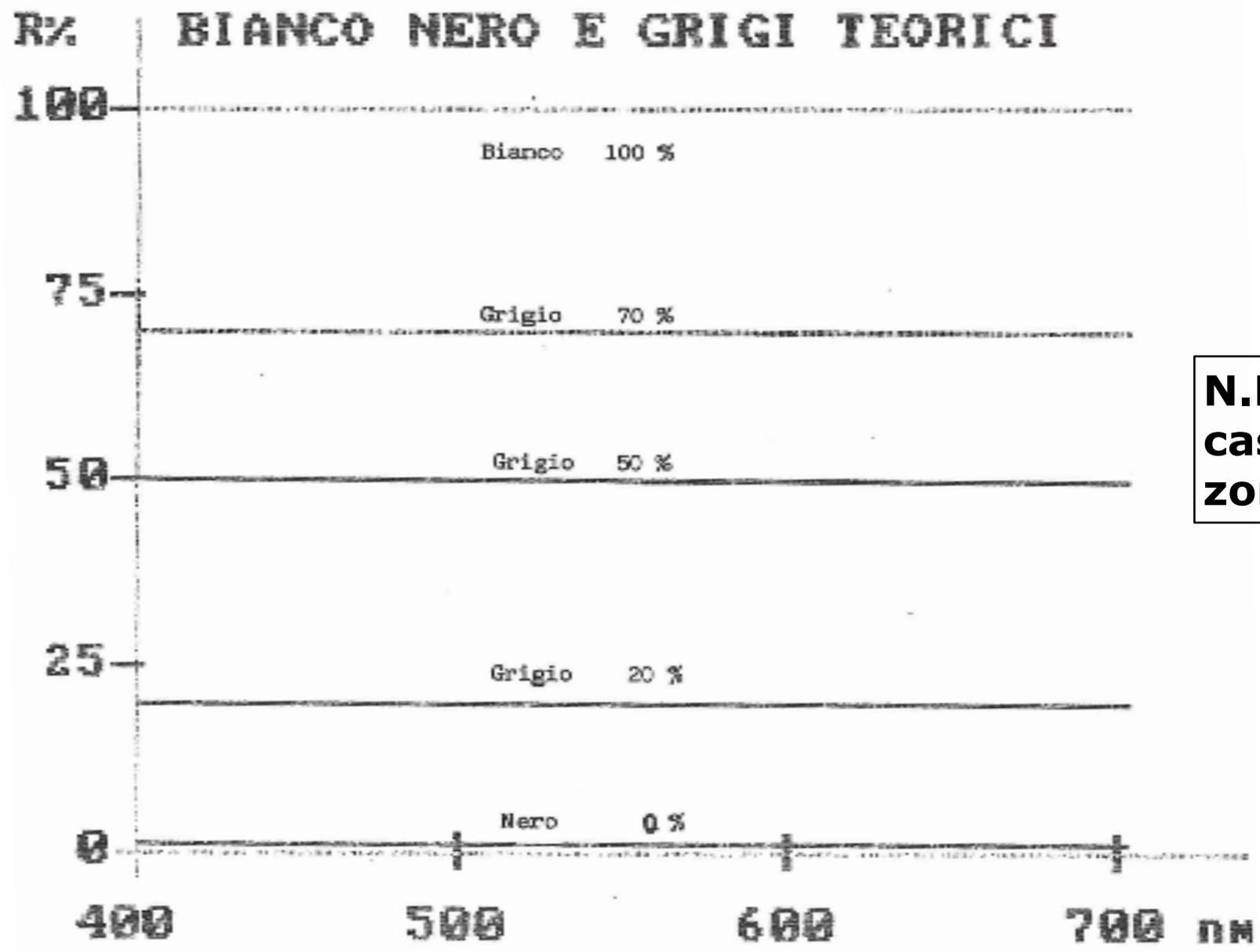
**I = energia per unità di tempo per unità di superficie (potere radiante)**

**Diagramma  $R_{\lambda}$  alle varie  $\lambda$  (tra 400 e 700 nm): **curva spettrale caratteristica** del colore in esame**

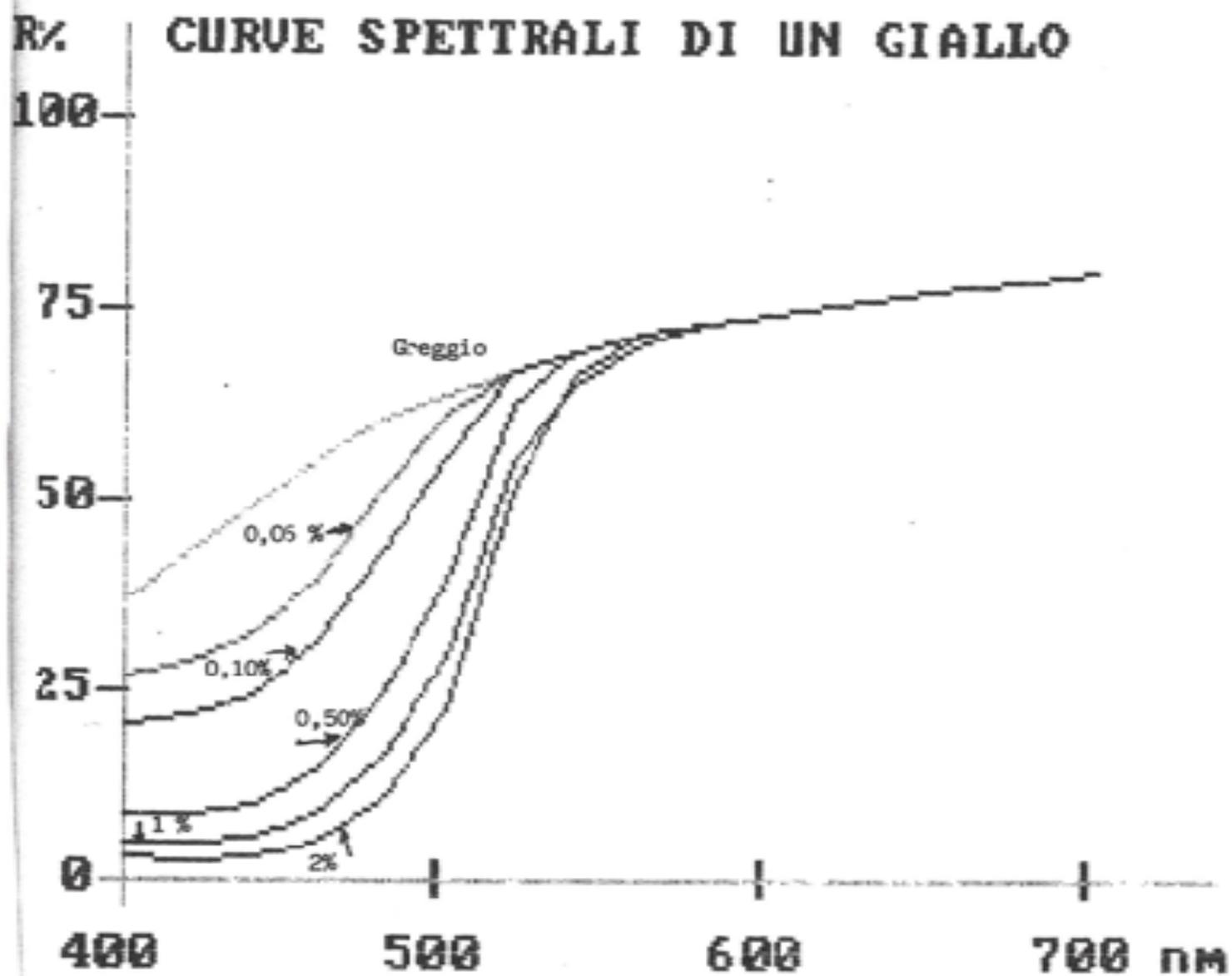
**$R_{\lambda} \rightarrow$  si determina con lo SPETTROFOTOMETRO (strumento fondamentale della colorim.); esso converte E radiante in E elettrica (con cellula fotoelettrica): misura quindi I di qualunque raggio luminoso.  $I_{i\lambda}$  (raggio incidente) viene calcolato con lettura di un "bianco" (ad es. MgO o BaSO<sub>4</sub>) che dà riflessione totale.**

**Curva  $R_{\lambda}$  vs.  $\lambda$ : caratteristica del colore dell'oggetto ed indipendente dalla luce utilizzata per la misurazione (ed eccezione di colori fluorescenti)**

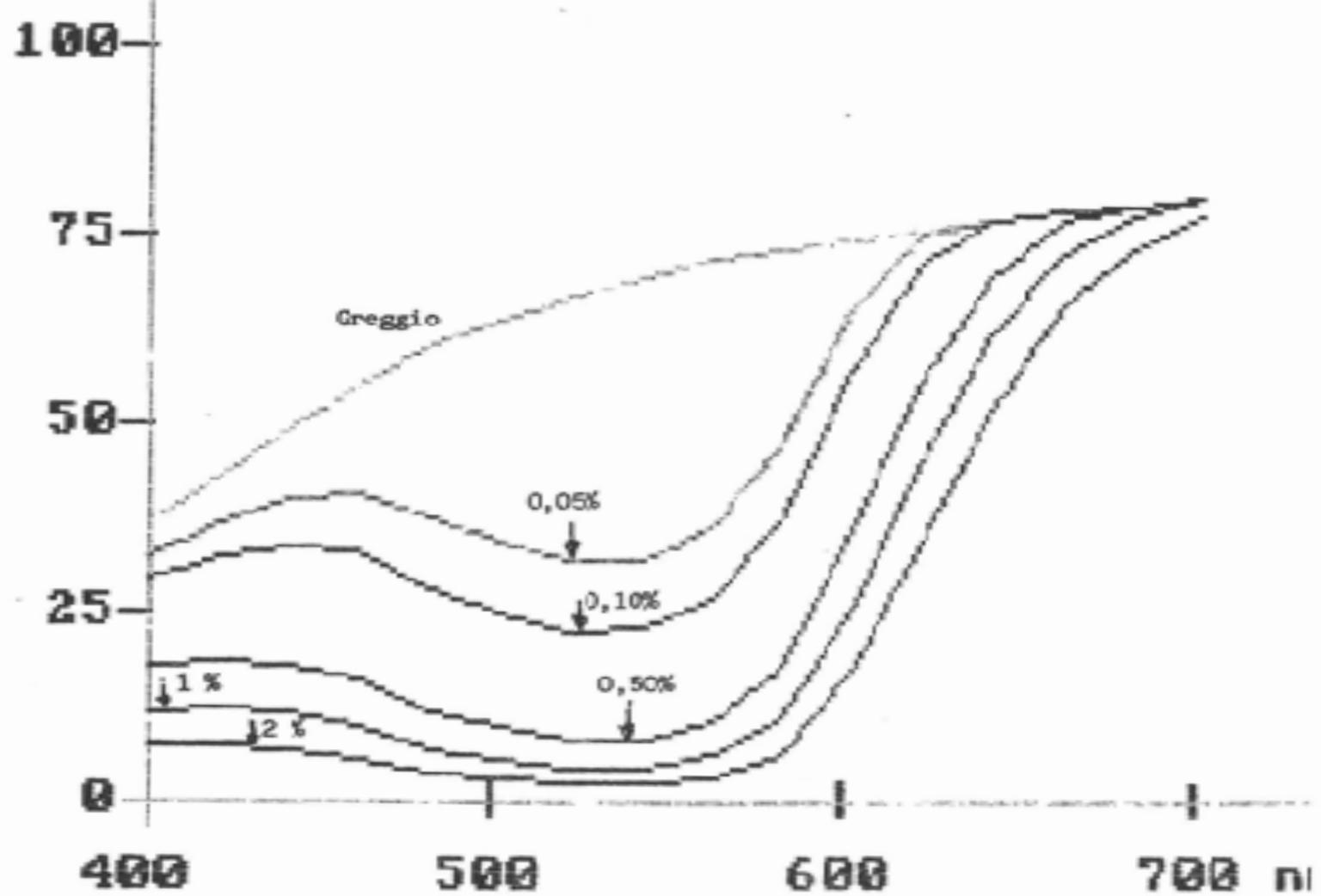
**Se ad es.  $R_{\lambda} = 54\%$ : luce monocromatica con specifica  $\lambda$  darà 54% di radiazione riemessa e 46% di assorbita – indipendentemente dall'illuminante (candela o lampada 1000 Watt); esso influisce su  $I_{i\lambda}$  e  $I_{r\lambda}$  ma non sul loro rapporto!**



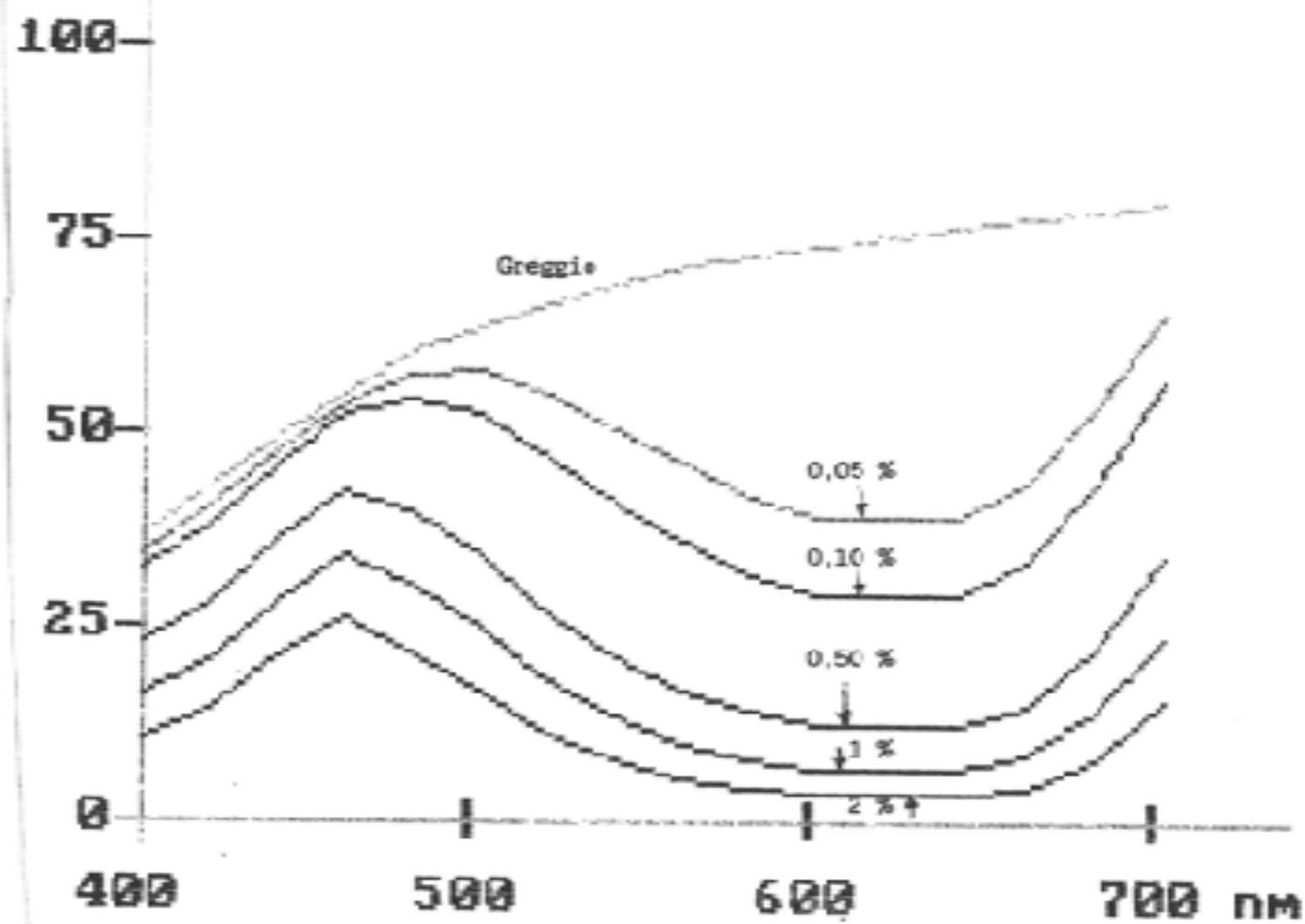
**N.B. = si tratta in tutti i casi di un segmento orizzontale avente R costante**



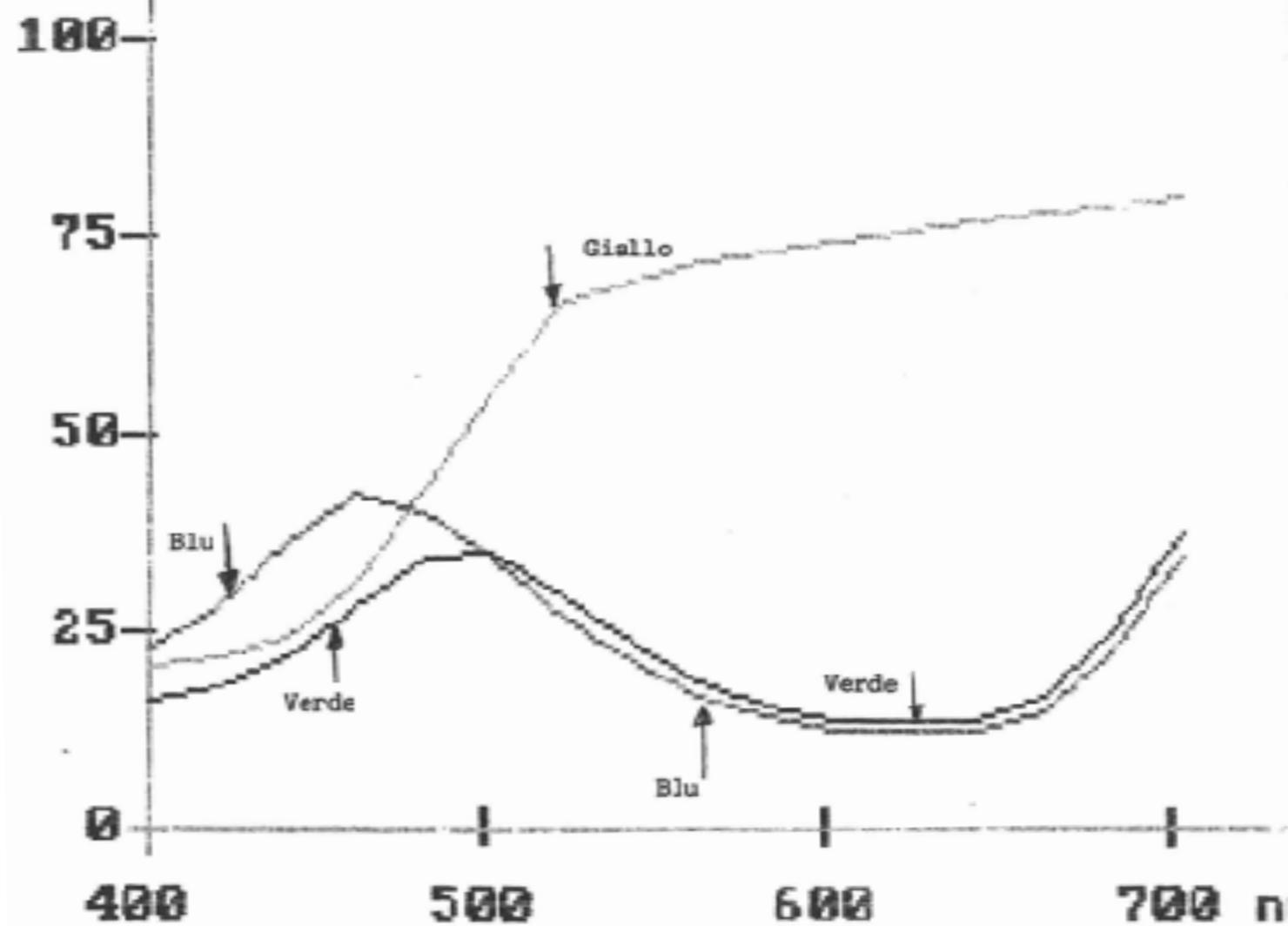
# R% CURVE SPETTRALI DI UN ROSSO



# R% CURVE SPETTRALI DI UN BLU



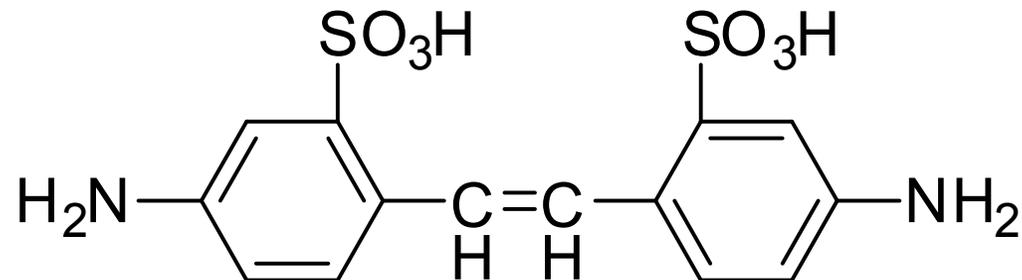
# R% GIALLO BLU VERDE



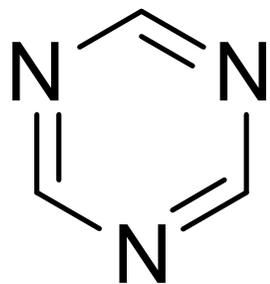
- **Colore** solo quando la curva non si riduce ad un segmento orizzontale: maggiore è il  $\Delta$  max / min più brillante è il colore (appiattimento porta verso il grigio)
- **Colori fluorescenti** possono dare  $R > 100$  % (ma non si crea energia dal nulla; radiazione "near UV" viene convertita in visibile)
- **Candeggianti (o sbiancanti) ottici**: "coloranti incolori" (con tendenza a legarsi alle fibre) con assorbimento nell'UV e riemissione nel vis. (violetto / azzurro / turchese)

**Azzurraggio nei secoli scorsi → coloranti o pigmenti blu (per nascondere il giallo della fibra "greggia")**

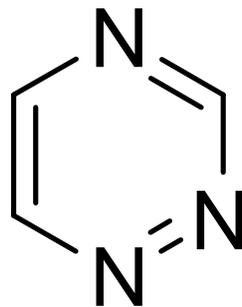
**Oggi → derivati dell'acido p,p'-diammino - o,o' - stilbendisolfonico:**



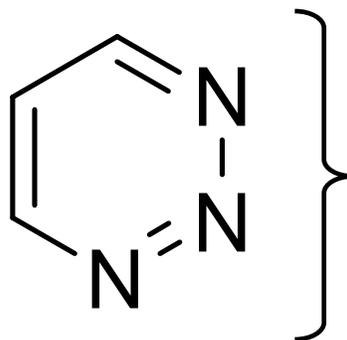
**Gruppi solfonici: liberi oppure esterificati /ammidati. Spesso in anello si introducono gruppi R-; Ar-; RO- (ossialchilici); Ar-NH- (anilici); triazinici; pirazolonici; morfolinici; imidazolici; triazolici; ecc ... (molte strutture sotto brevetto). Effetto valutato sotto luce di Wood (ricca in UV a  $\approx 360$  nm)**



**1,3,5**



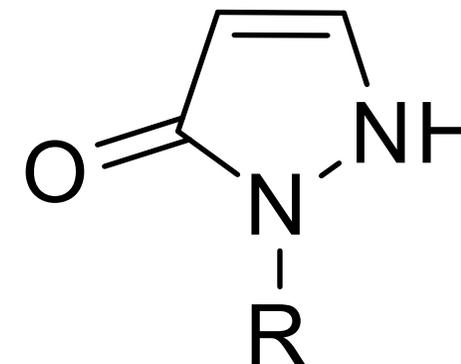
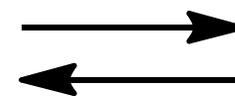
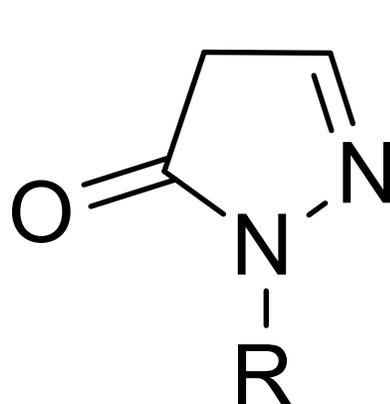
**1,2,4**

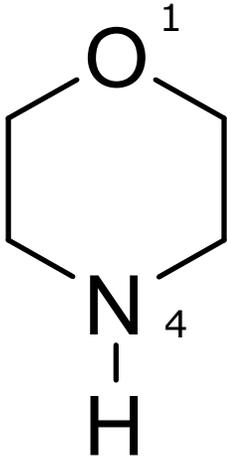


**1,2,3**

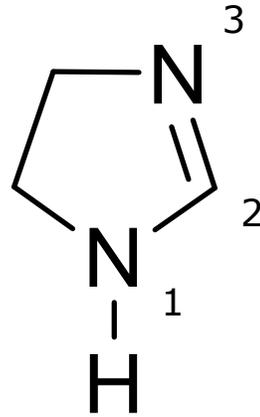
**triazine**

**pirazolone**

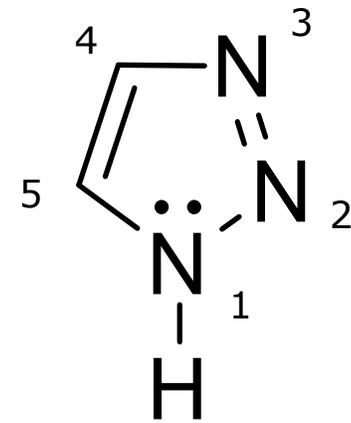




**morfolina**  
**(1,4-tetraidro ossazina)**



**2-imidazolina**



**1,2,3-triazolo**  
**(c'è anche l'isomero**  
**1,3,4-triazolo)**

**Presentano cromofori deboli, capaci di fluorescenza. No cromofori forti (associati ad auxocromi): danno assorbimento nel VIS, sarebbero veri e propri coloranti**

**Impiegati in campo tessile per la buona solidità al lavaggio**

## Pigmenti fluorescenti:

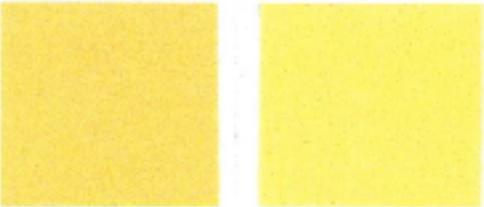
- **Uranina**                      **Acid Yellow 73 (D&C Yellow 8) CI 45350**
- **Rodamina**                 **Acid Red 52**                                      **CI 45100**
- **Piranina**                     **Solvent Green 7 (D&C Green 8) CI 59040**
- **Fluoresceina**               **Solvent Yellow 94**                               **CI 45350:1**  
     **(C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>O<sub>5</sub>)**

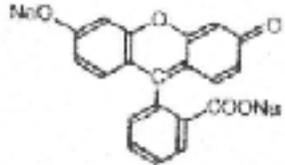
---

Legal color:	Yellow No.202-(1)
General name:	Uranine
ClassF	Acid Dye
FDAF	D & C Yellow No.8
CI #:	C.I. 45350
Color #:	Acid Yellow 73
CAS #:	518-47-8
CAS:	Spiro[isobenzofuran-1(3H),9'-[9H]xanthen]-3-one,3',6'-dihydroxy-,disodium salt
IUPAC:	1;3,6-Dihydroxyxanthene-9-spiro-1'-3'H-isobenzofuran-3'-one disodium salt 2;3',6'-Dihydroxy-spiro[3H-isobenzofuran-1,9'-xanthen]-3-one disodium salt 3;9-(o-Carboxyphenyl)-3,6-dihydroxyxanthylum disodium salt

Chemical structure :



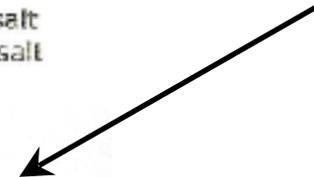


C20H12Na2O6 : 376.27

5-1416

Uranine

**Fluoresceina  
sale disodico**



# Spettrofotometro:

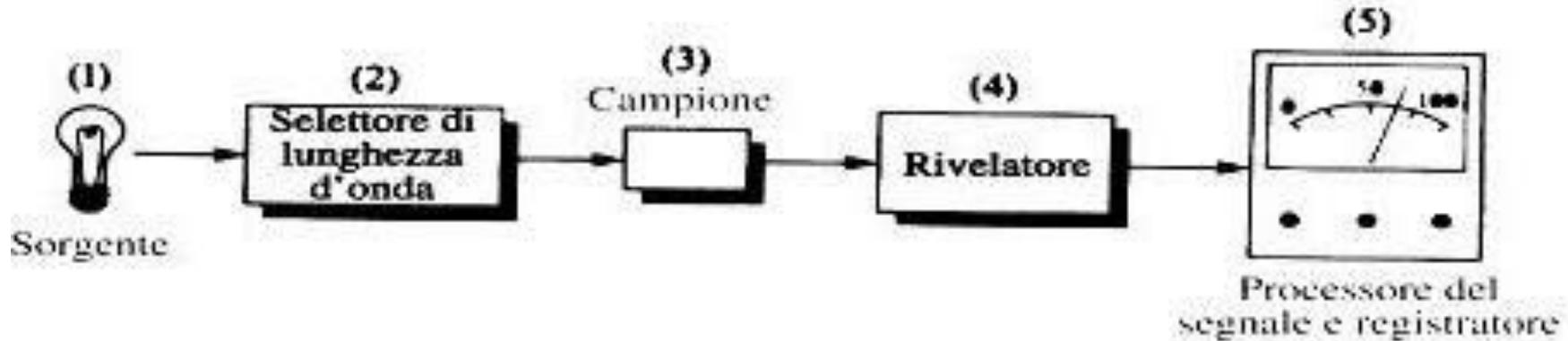
**E' l'apparecchio basilare della colorimetria tristimolus: effettua l'analisi della curva spettrale (il nostro sistema visivo fa una sintesi di tutta la curva di riemissione)**

**Elementi fondamentali:**

- 1) sorgente: fornisce  $I_{i\lambda}$**
- 2) portacampione: sulla sua superficie incide  $I_{i\lambda}$  e fa originare  $I_{r\lambda}$**
- 3) monocromatore (o dispositivo analogo: reticolo di diffrazione / filtri): seleziona via via le varie  $\lambda$**
- 4) riceettore fotoelettrico: quantifica i valori di  $I_{i\lambda}$  e  $I_{r\lambda}$**

➤ 2 tipi di spettrofotometro, a seconda della posizione del monocromatore:

- **Hardy**: posto tra lampada e campione

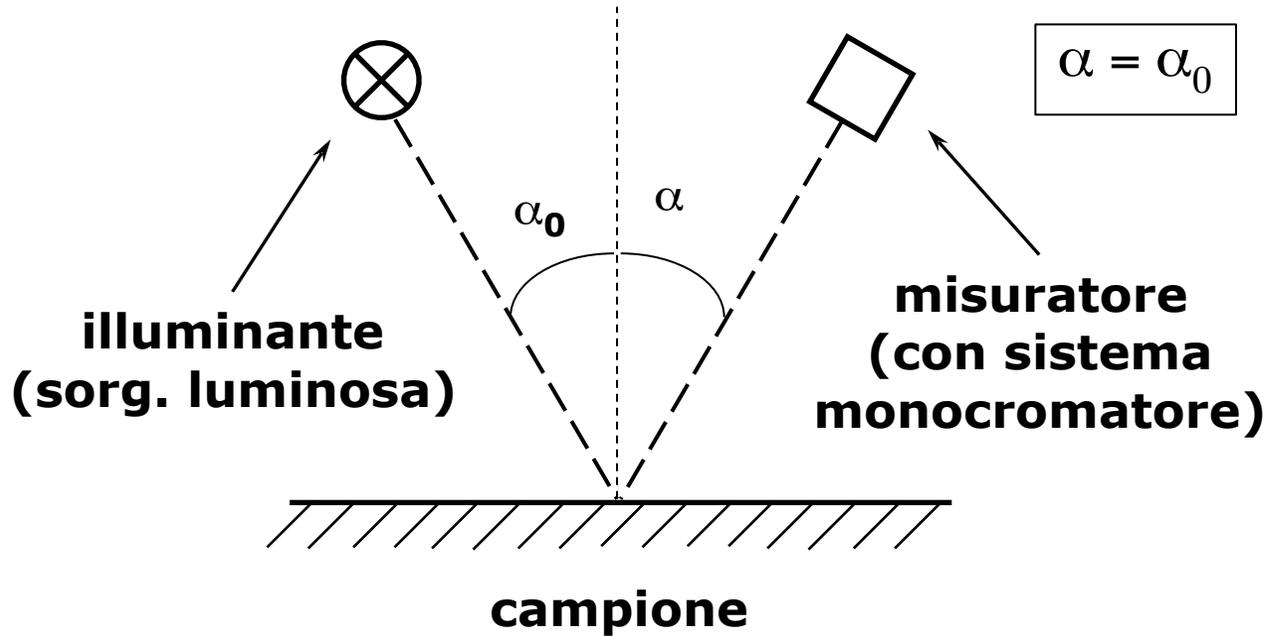


- **Macbeth**: sistemato tra campione e rivelatore (adatto anche per campioni fluorescenti)

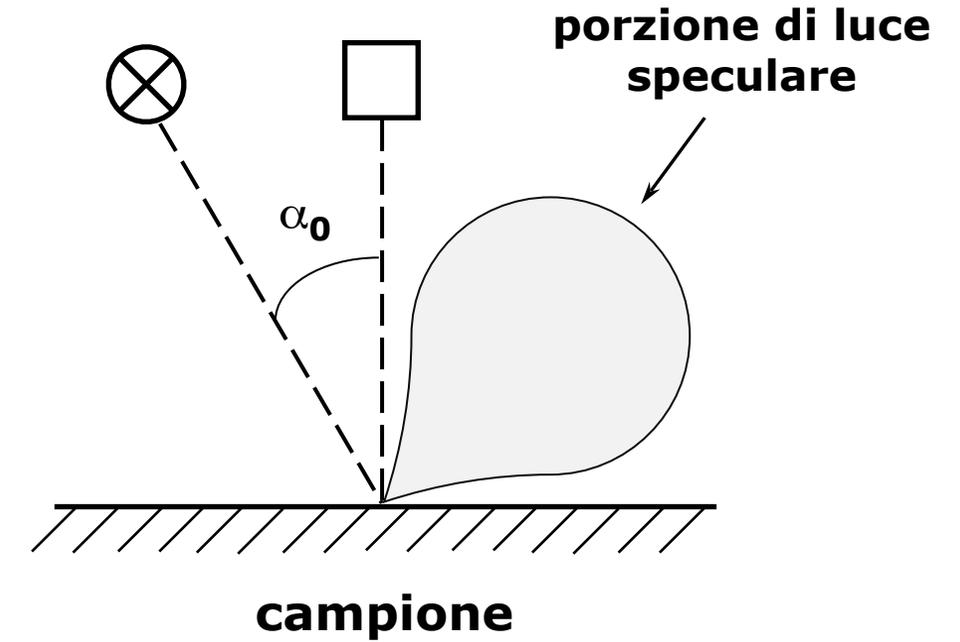
➤ Spesso presente una *sfera di integrazione* (rivestita internamente di MgO o BaSO<sub>4</sub>): proietta luce diffusa sul campione (*sfera di Ulbricht*)

➤ Non percepisce aspetti che l'occhio è in grado di cogliere come lucido / opaco, sfumature, ecc...

**Si ha misura della frazione di luce che emerge da una superficie:**



**Così si misura la luce riflessa per specularità: non è condizione ideale per analizzare il colore**

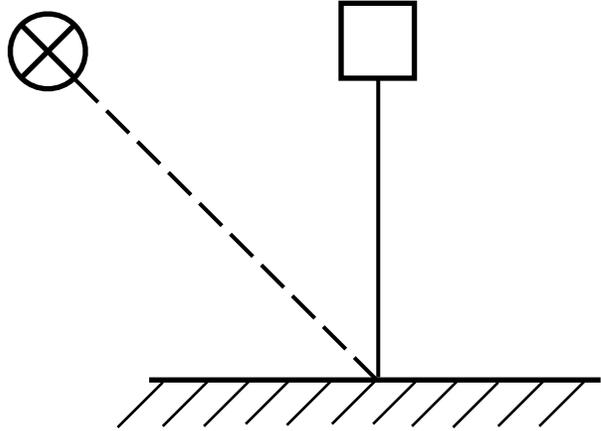


**In questo modo si misura meglio il colore (misuratore normale all'oggetto;  $\alpha = 0^\circ$ )**

**Spettrogoniometro:** strumento con misuratore (rivelatore / monocromatore) che può ruotare rispetto al campione → dati diversi a seconda del valore di  $\alpha$

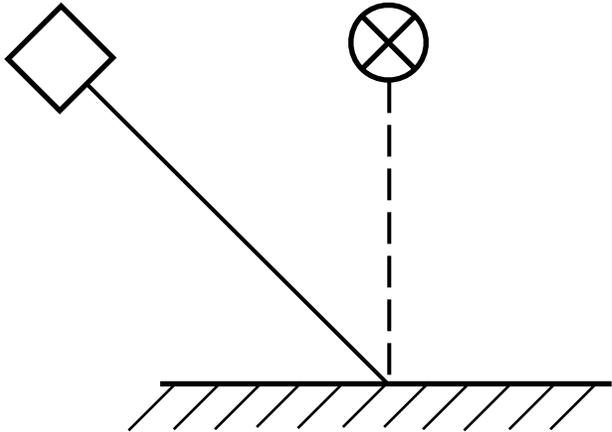
Si parla di "ottica" (o geometria di misura):

- 45 / 0



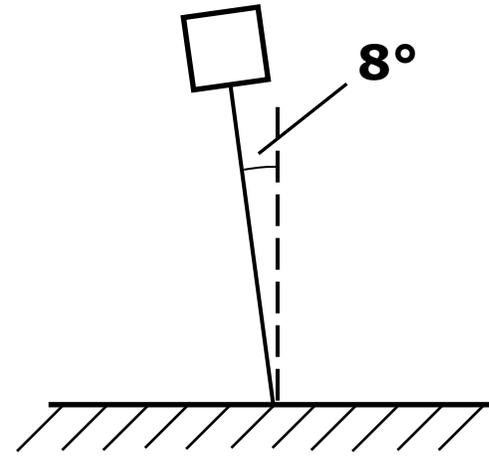
(0° posiz. ricevitore; 45° illuminazione)

- 0 / 45



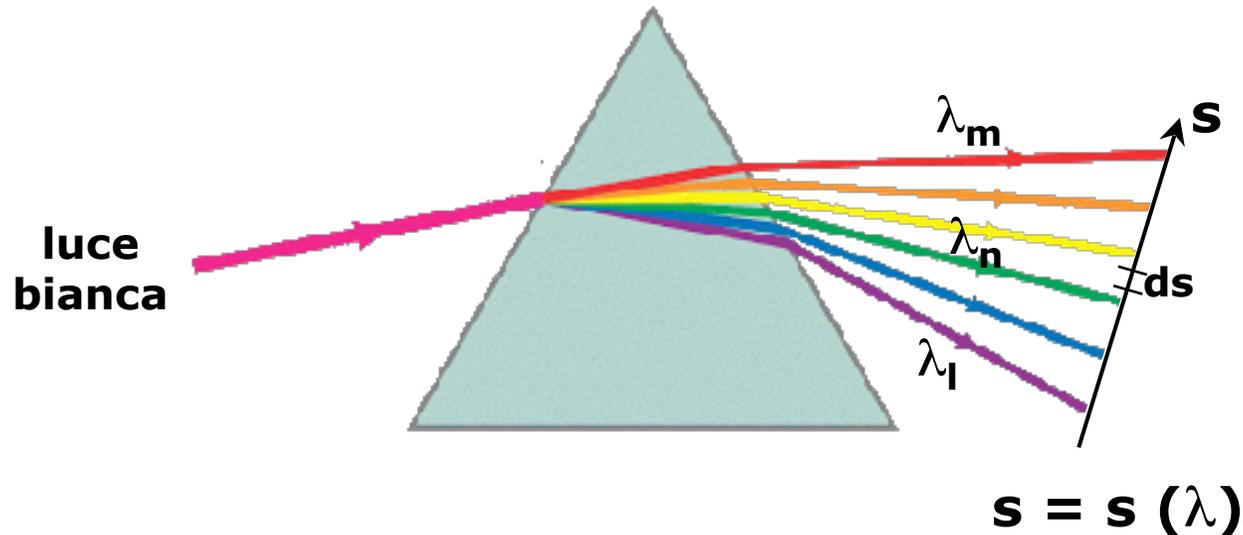
(poco usata)

- **D / 8 (ottica diffusa / 8°). Oggetto illuminato dappertutto e lettura a 8° rispetto alla normale (sistema usato spesso nel conciaro con sfera integratrice)**



**Per costruire lo spettro (grafico R% vs.  $\lambda$ ), luce analizzata con monocromatore:**

- **a prisma:**



**Non c'è linearità in funzione di  $\lambda$ :**

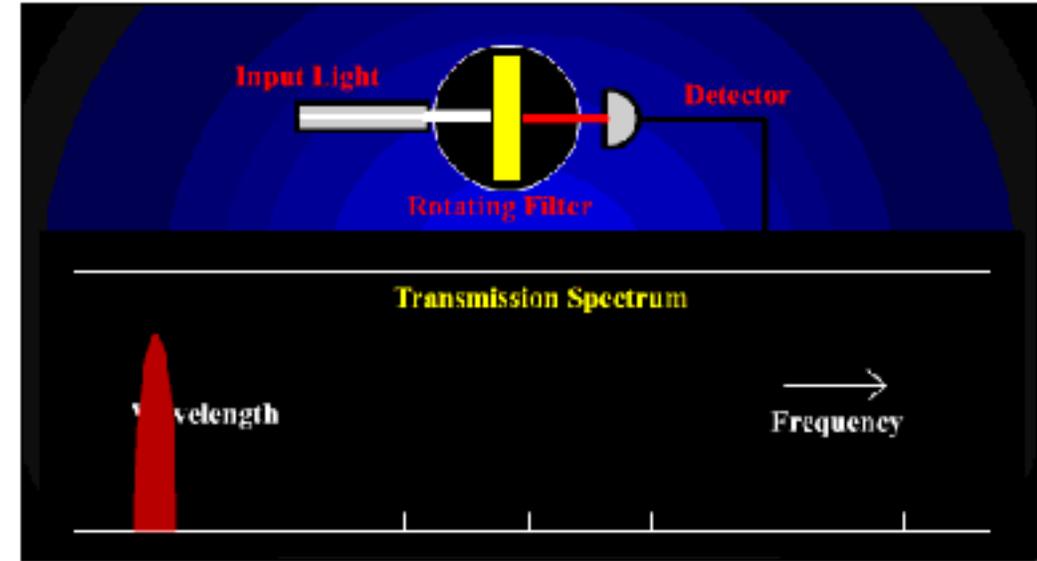
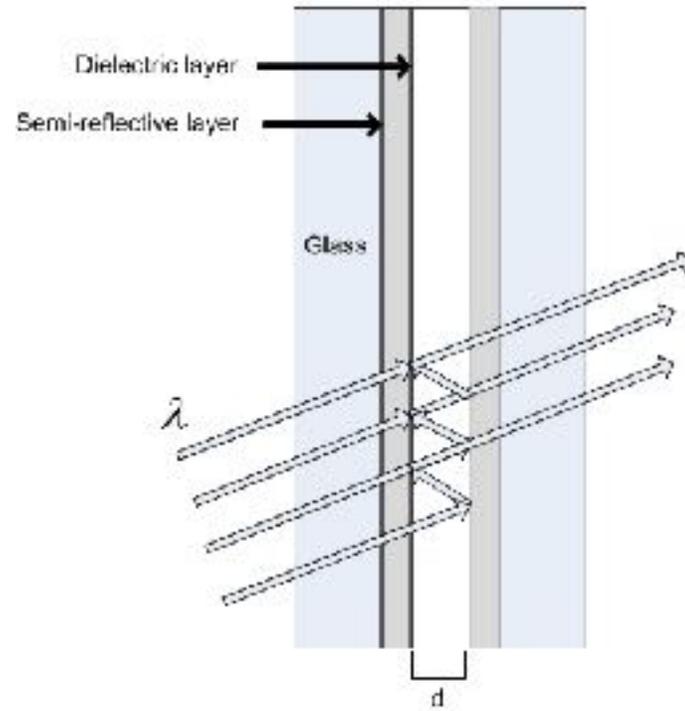
$$\frac{ds}{d\lambda} \neq k$$

$$s \neq k \cdot \lambda + q$$

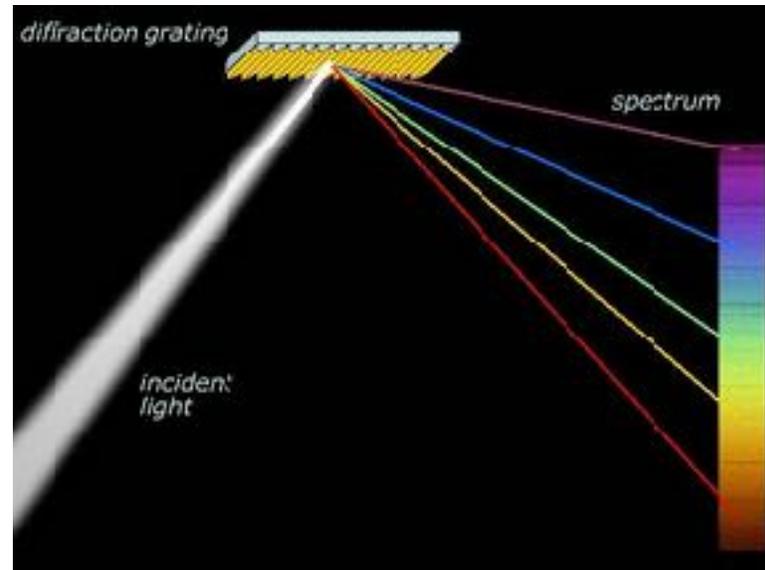
$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = n$$

**Il prisma però dà fenomeni di assorbimento: si è in condizioni di difetto**

- **filtro interferenziale:**

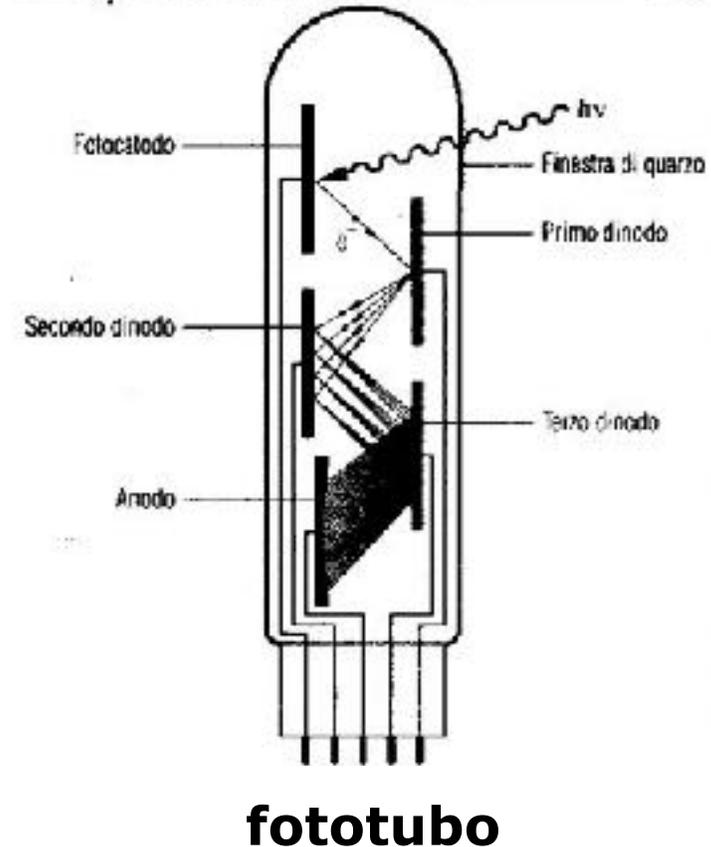
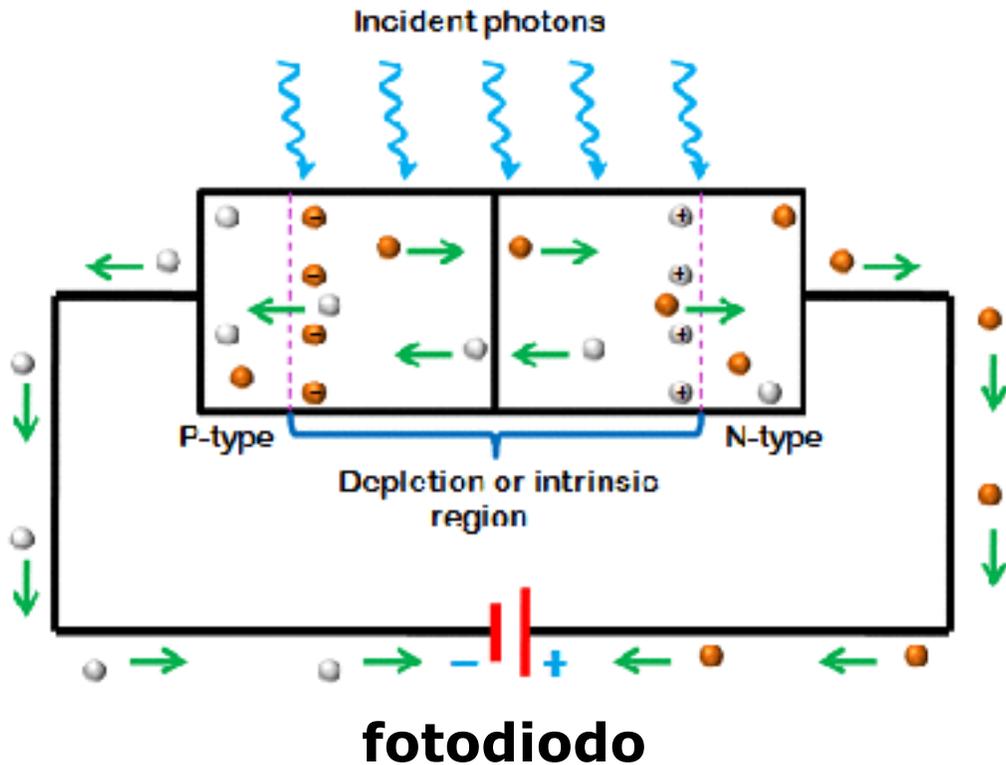


- **reticolo di diffrazione:**



Infine va misurata la quantità di luce, convertendo la luce in segnale elettrico:

- **fototubi**: catodo in Cs che colpito da radiazione e.m. emette  $e^-$ ; con una serie di anodi (dinodi) viene aumentato il potenziale elettrico ed infine vi è un lettore;
- **fotodiodi**: molto usati; fabbricati in Si drogato: un elemento positivamente e l'altro negativamente (giunzione p-n). La giunzione colpita da radiazione emette corrente elettrica. Dimensioni  $< 1$  mm.



# Illuminanti

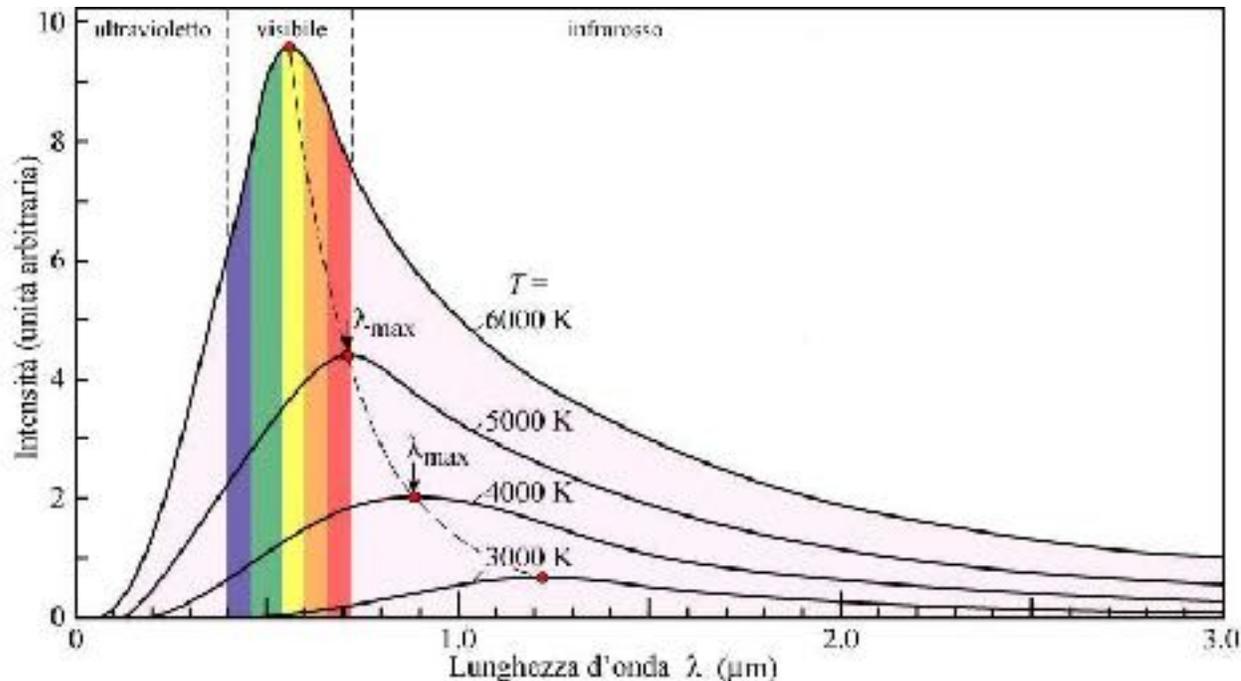
Definiti dalla CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*):

- **Illuminante A:** lampadina a filamento di W (T di colore attuale = 2856 K) che ha luce bianco-rossa. E' una delle sorgenti principali ed è *planchiano*.
- **Illuminante B:** illuminante A + 2 filtri (sol. di  $\text{CuSO}_4$  e  $\text{CoSO}_4$  a conc. stabilita e spessore 1 cm). T di colore = 4870 K e colore bianco a riflessi gialli. Simula bene la luce solare e *non è planchiano*.
- **Illuminante C:** come per il B, cambiando le conc. delle 2 soluzioni. T di colore = 6770 K, luce bianca con riflessi azzurri: modello di luce media proveniente dal cielo nuvoloso del nord.
- **Illuminante D65:** radiazione corrispondente a quella del corpo nero di Kirchhoff a 6500 K. Simile all'illuminante C e, assieme a questo, il più diffuso.

**Corpo nero:** sfera rivestita internamente di carbon black (nerofumo) / fatta in materiale refrattario.



Riscaldato a  $T$  di  $500^{\circ}\text{C}$  ha inizio un'emissione rossastra. La  $\lambda$  emessa è legata alla  $T$ :



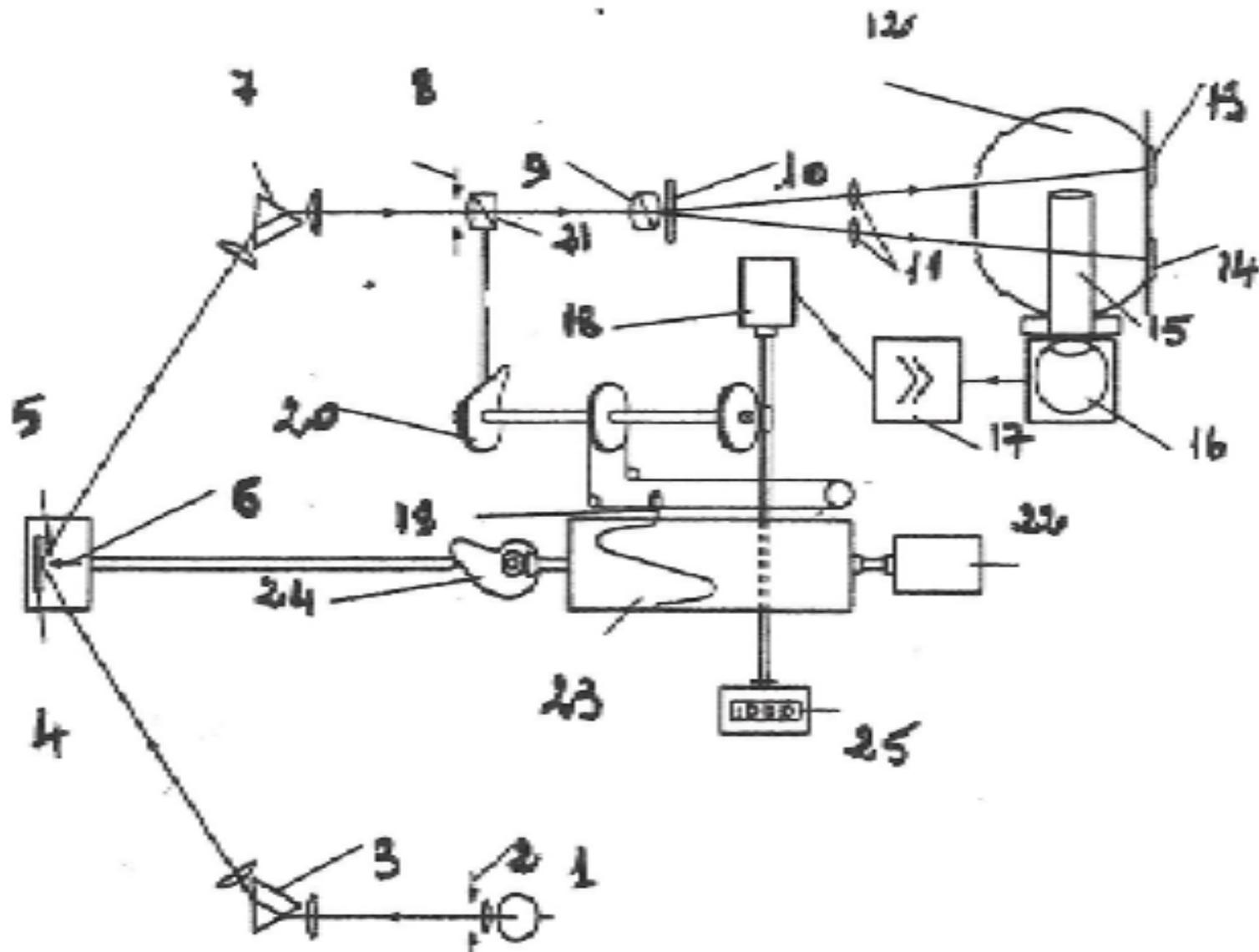
Es.: **IR** si ha emissione IR a  $\sim 1200 / 1300^{\circ}\text{C}$  (filamento di Nernst o Globalar)

**VIS** si ha emissione visibile da  $\sim 2000^{\circ}\text{C}$  (lampada ad incandescenza di W)

- **Illuminanti F (F1 – F12):** tubi fluorescenti, caratterizzati da picchi energetici sovrapposti alla distribuzione energetica continua. Usati per valutazione di fluorescenza.
- **Illuminante TL84:** il classico tubo luminescente per grandi magazzini; nella pratica è l'F11 (CCT 4000K) .
- **Illuminante CWF:** il tipico illuminante d'ufficio; nella pratica è l'F2 (CCT 4230K) .

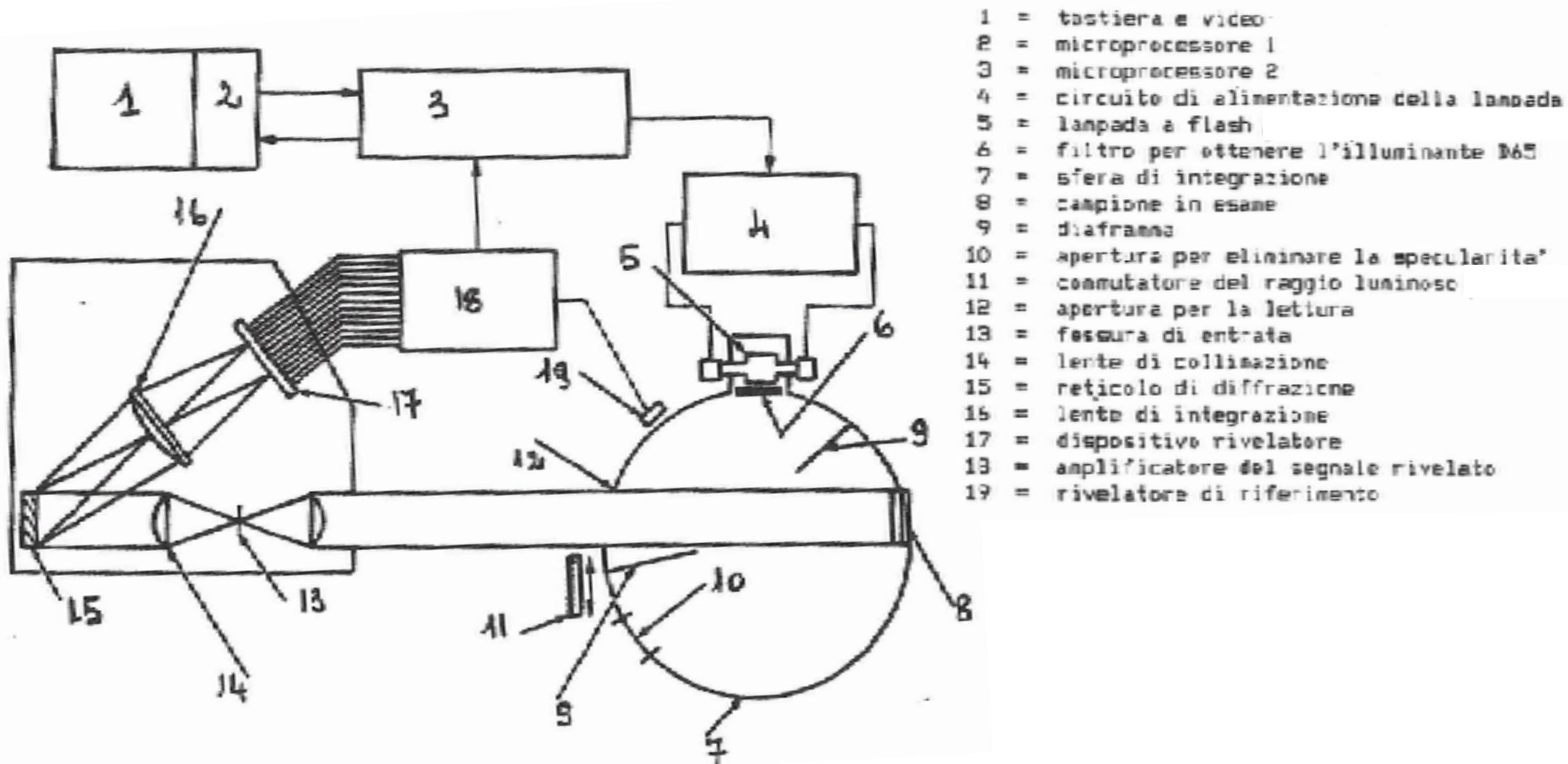
**N.B.: illuminante  $\neq$  sorgente luminosa! Illuminante: affidabile, riproducibile e matematicamente descrivibile da valori  $E$  vs.  $\lambda$  (in tabella o grafico)**

# Spettrofotometro tipo *Hardy*



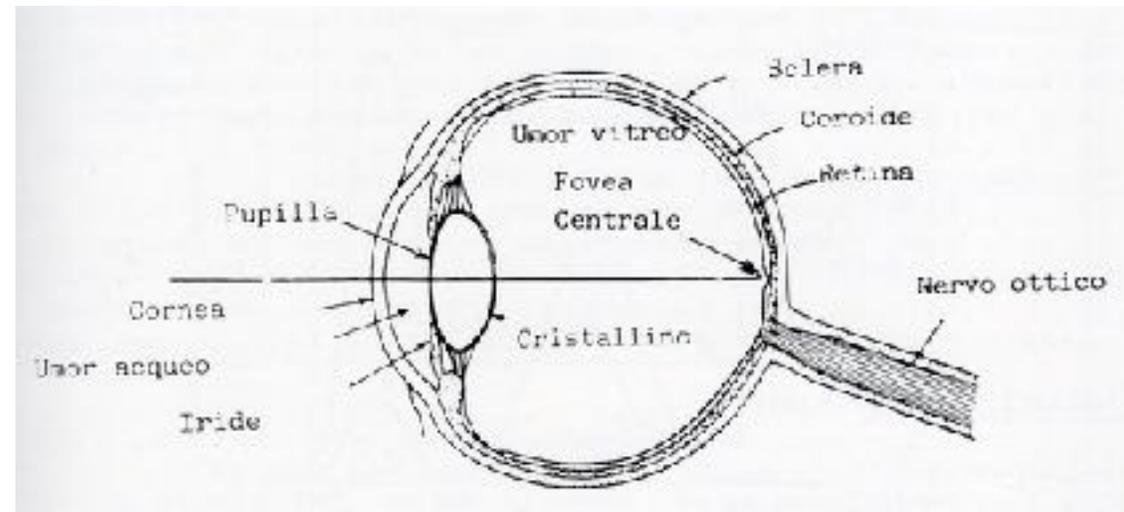
- 1 = lampada
- 2 = fenditura 1
- 3 = prisma 1
- 4 = specchio
- 5 = fenditura 2
- 6 = ganaschia della fenditura
- 7 = prisma 2
- 8 = fenditura 3
- 9 = prisma di Wallaston
- 10 = filtro polarizzatore
- 11 = doppie lenti
- 12 = sfera di integrazione
- 13 = bianco standard
- 14 = campione in esame
- 15 = tubo in plexigas
- 16 = fotocellula
- 17 = amplificatore
- 18 = servo motore
- 19 = scrivente
- 20 = eccentrico per curve fotometriche
- 21 = prisma compensatore di Rochon
- 22 = motore per le lunghezze d'onda
- 23 = cilindro di registrazione
- 24 = eccentrico per le lunghezze d'onda
- 25 = scala fotometrica

# Spettrofotometro tipo *MacBeth*



# Occhio:

- **Bastoncelli**
- **7 · 000 · 000 di conici, ognuno dotato di propria terminazione nervosa che va al cervello**
- **3 tipi: sensibili al blu / rosso / verde; dotati di centro di eccitazione**
- **ogni colore è caratterizzato da 3 valori X, Y e Z detti **valori tristimolus****
  - X → rappresenta la sensazione al rosso**
  - Y → sensazione al verde**
  - Z → sensazione al blu**



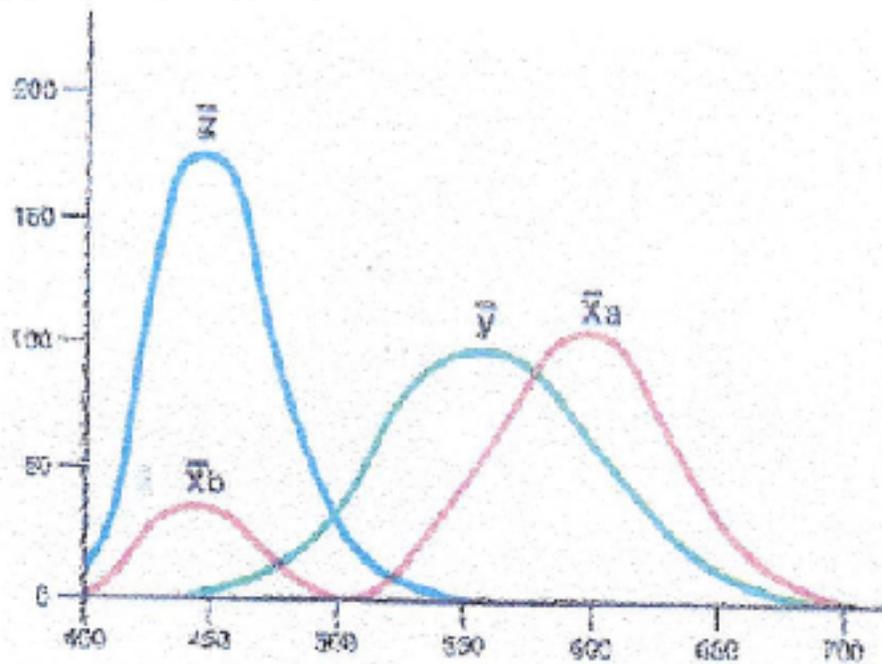
$$X = \sum_{400}^{700} R_{\lambda} \cdot E_{\lambda} \cdot \bar{x}_{\lambda}$$

percezione del colore: dipende da oggetto illuminato, illuminante ed osservatore

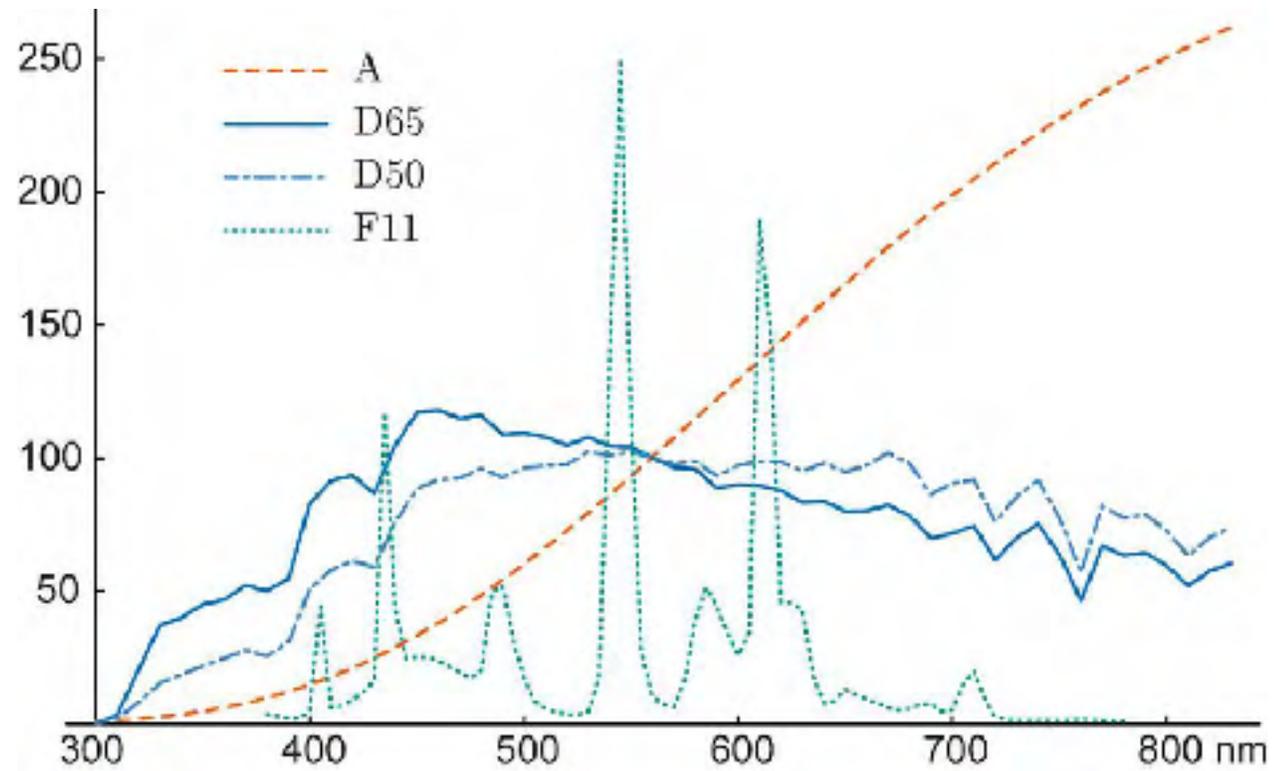
$R_{\lambda}$  = valore di riemissione dell'oggetto

$E_{\lambda}$  = valore dell'energia emessa dall'illuminante scelto (in funzione di  $\lambda$ )

Il calcolo di  $\bar{x}_{\lambda}$  (e anche di  $\bar{y}_{\lambda}$  e  $\bar{z}_{\lambda}$ ) ha coinvolto migliaia di osservatori e si sono costruite le curve dell'osservatore medio (curve di sensibilità secondo Young-Maxwell ed ...)



Le 3 funzioni dei valori spettrali standard internazionalmente accettate per l'osservatore medio (CIE 1931)



**Distribuzione dell'energia  
spettrale per l'illuminante scelto  
(o diagrammi SPD)**

**Inoltre:**

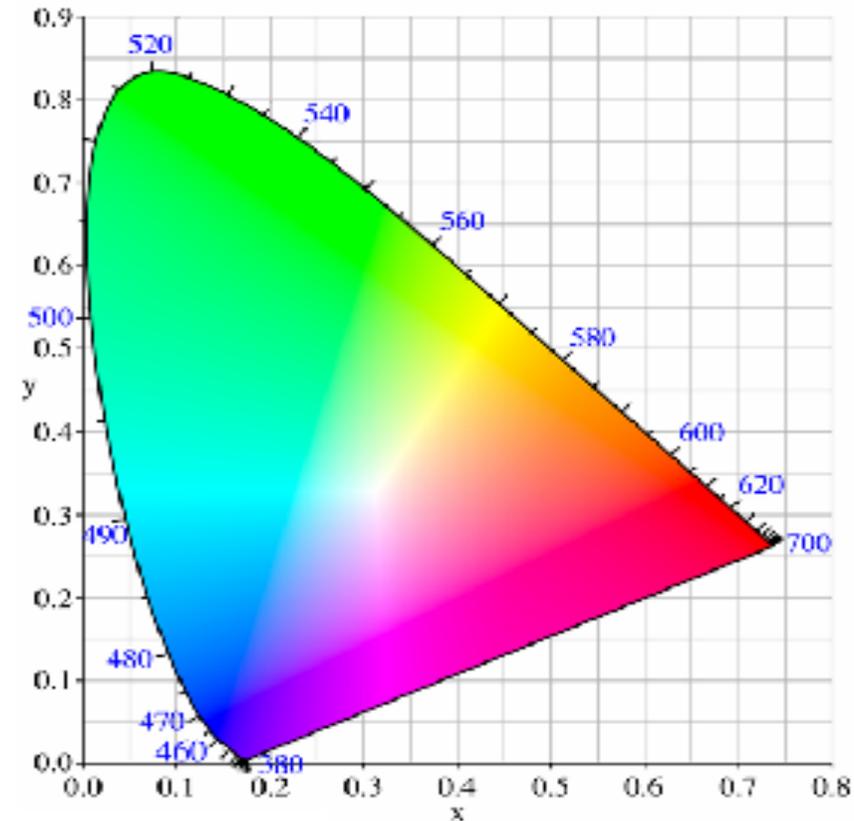
- $Z = \sum_{400}^{700} R_{\lambda} \cdot E_{\lambda} \cdot \bar{z}_{\lambda}$
- $Y = \sum_{400}^{700} R_{\lambda} \cdot E_{\lambda} \cdot \bar{y}_{\lambda}$

Dalla terna X;Y;Z è complicato capire di che colore si tratta (anche perché si è di fronte ad una rappresentazione spaziale, in 3D) → rappresentazione **bidimensionale** con le "coordinate cromatiche", dette anche "valori standard proporzionali" oppure "parti normali del valore del colore" (CIE 1931)

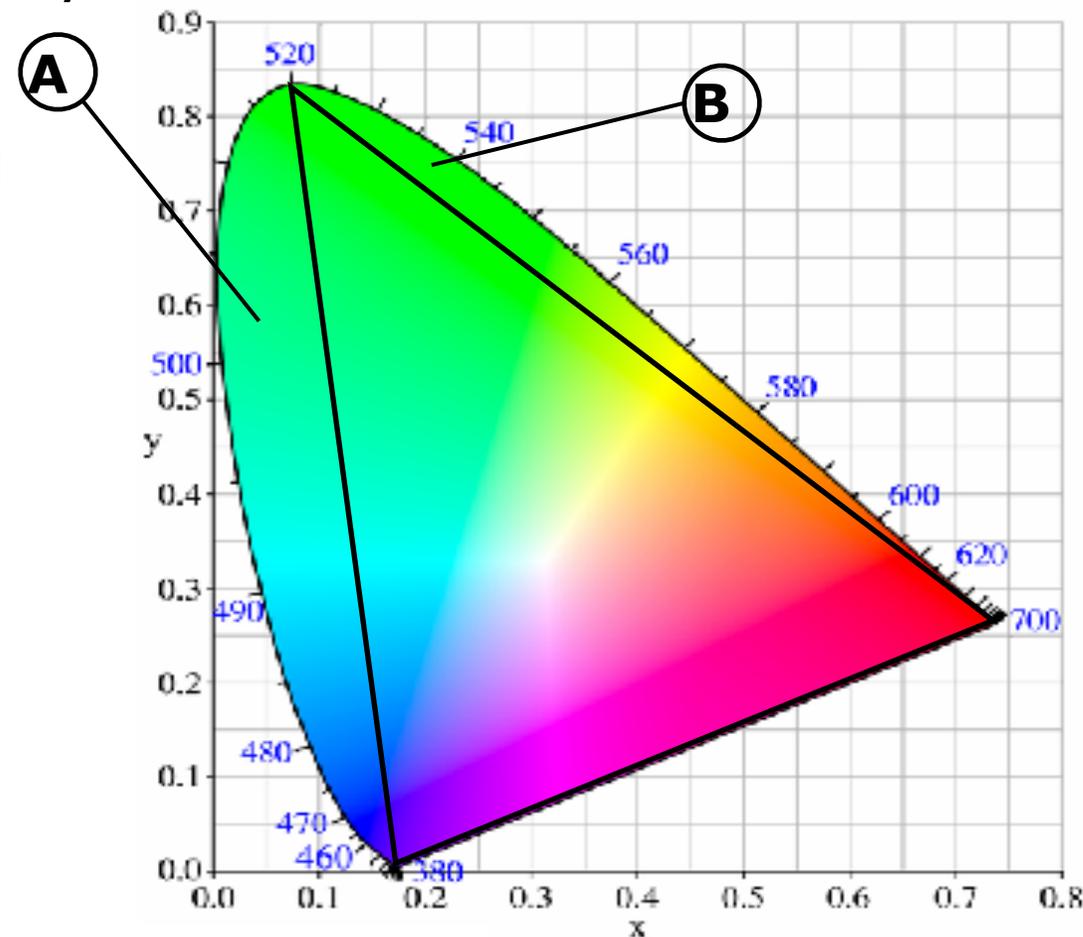
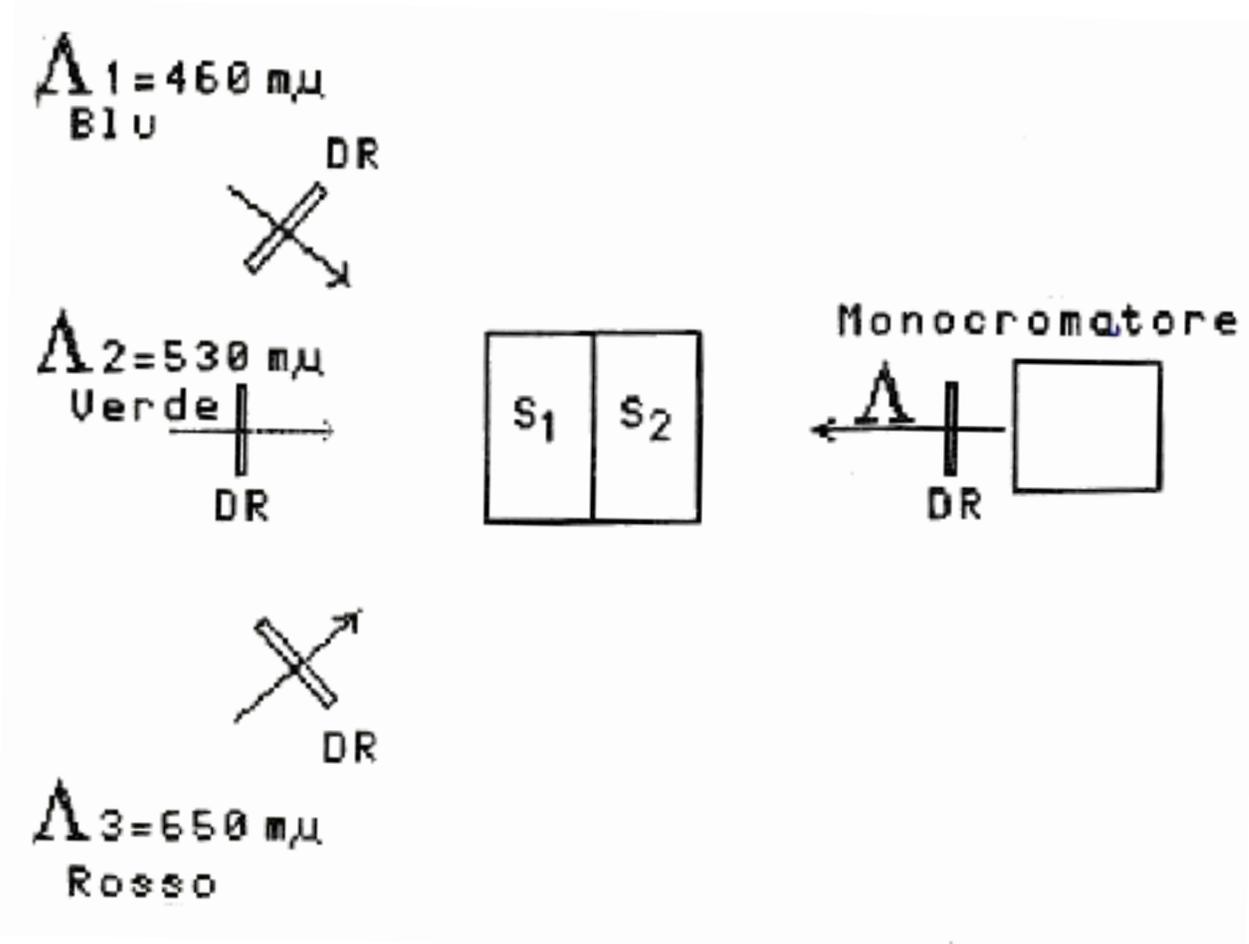
$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

In pratica esprimono le sensazioni di rosso (x) e verde (y) in % sul totale.

Da tali valori si costruisce la nota curva "a ferro di cavallo" (**CHROMATICITY DIAGRAM**)



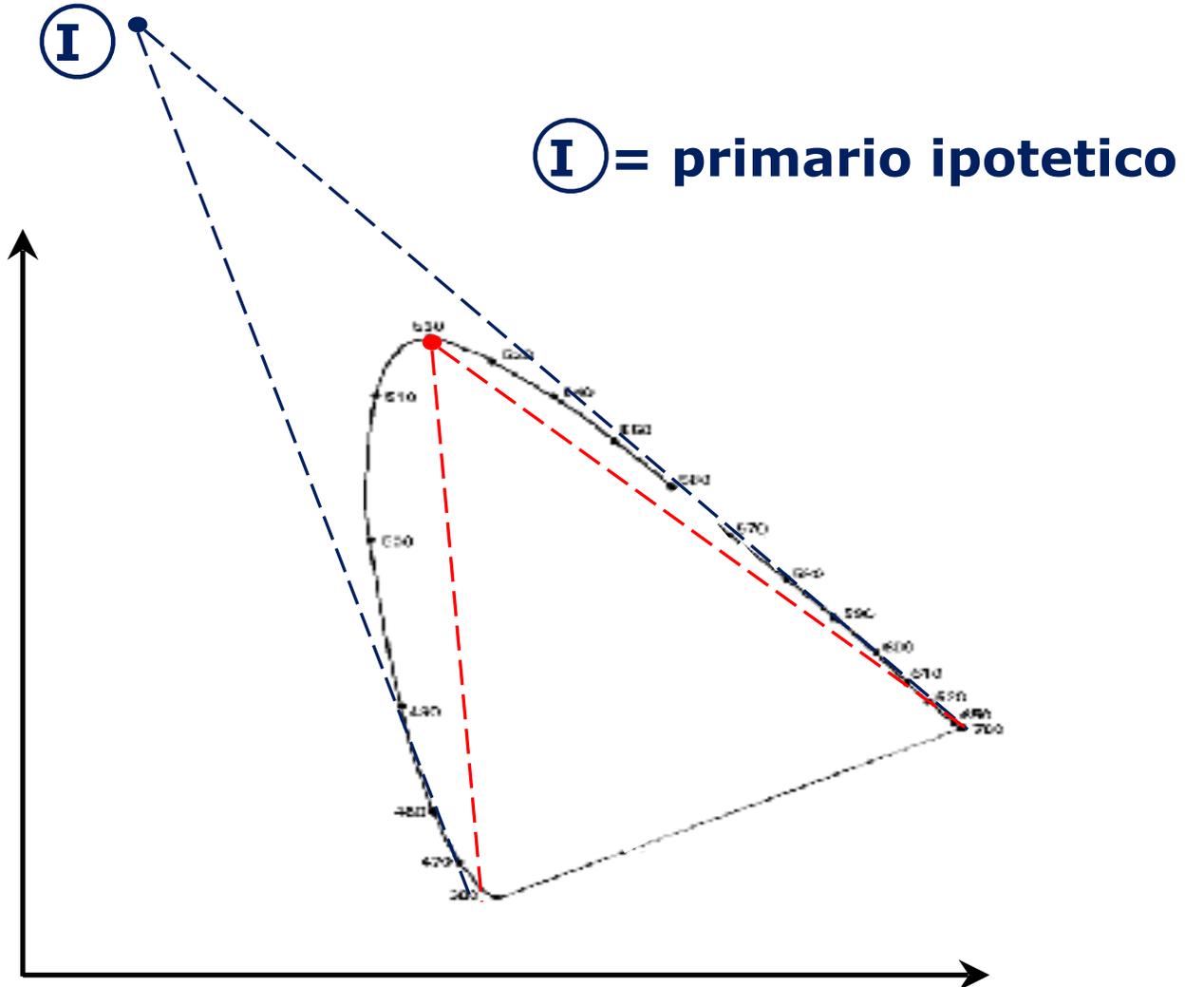
Per determinare le funzioni  $\bar{x}_\lambda$ ;  $\bar{y}_\lambda$  e  $\bar{z}_\lambda$ : schermo (su parete) bianco diviso in 2 semicampi ( $S_1$  ed  $S_2$ ) da un diaframma nero; l'osservatore vede il colore sotto  $2^\circ$  e/o  $10^\circ$  di apertura



A e B: aree di colori non coperte (con 3 luci non è possibile riprodurre tutti i colori: solo quelli entro il triangolo)

Si crea allora un colore artificiale aggiungendo una certa radiazione al colore da imitare (2° semicampo): si possono creare tutti i colori, ma in questo modo ci sono anche termini negativi!

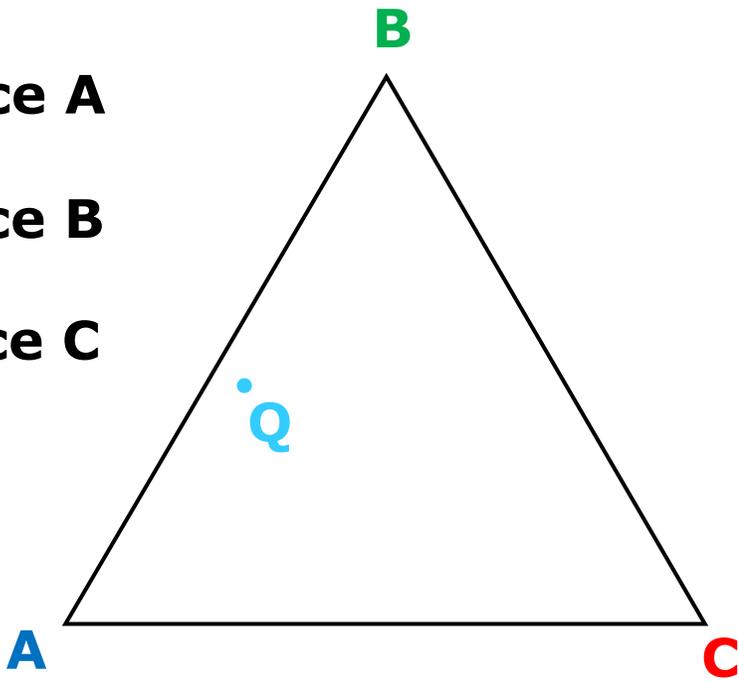
CIE supera il problema fruttando il *principio di Grassmann*: si sono creati primari ipotetici (non reali) che danno valori positivi a tutti i colori



**A** → luce A

**B** → luce B

**C** → luce C



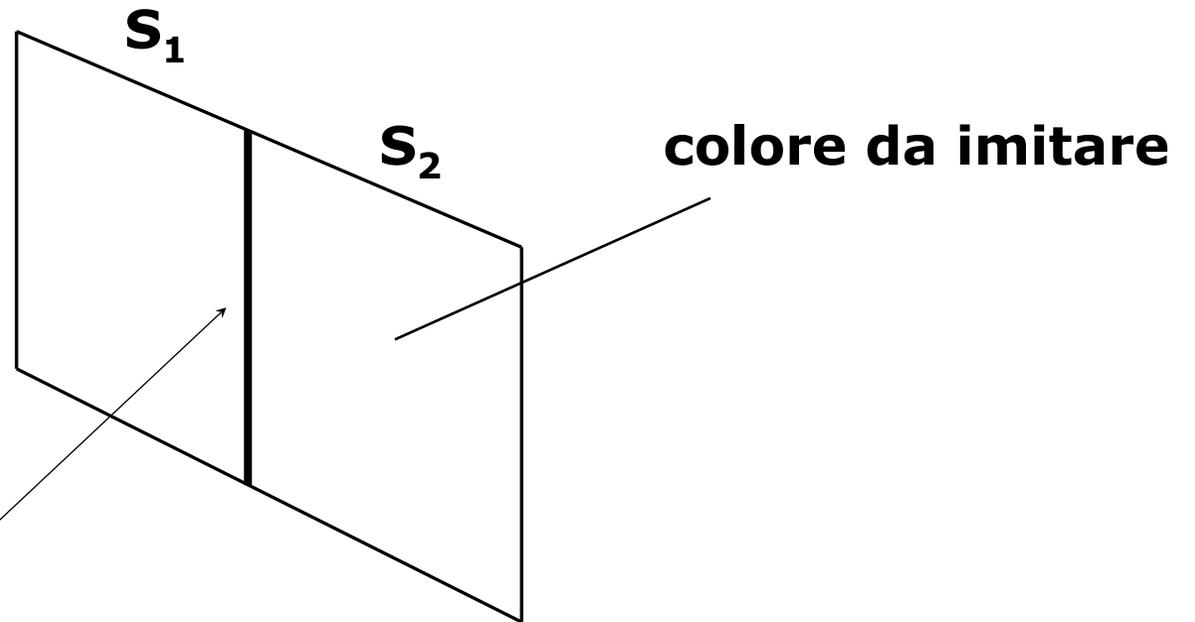
Aprendo e chiudendo i diaframmi di **A** e **B** vengono creati i colori tra A e B

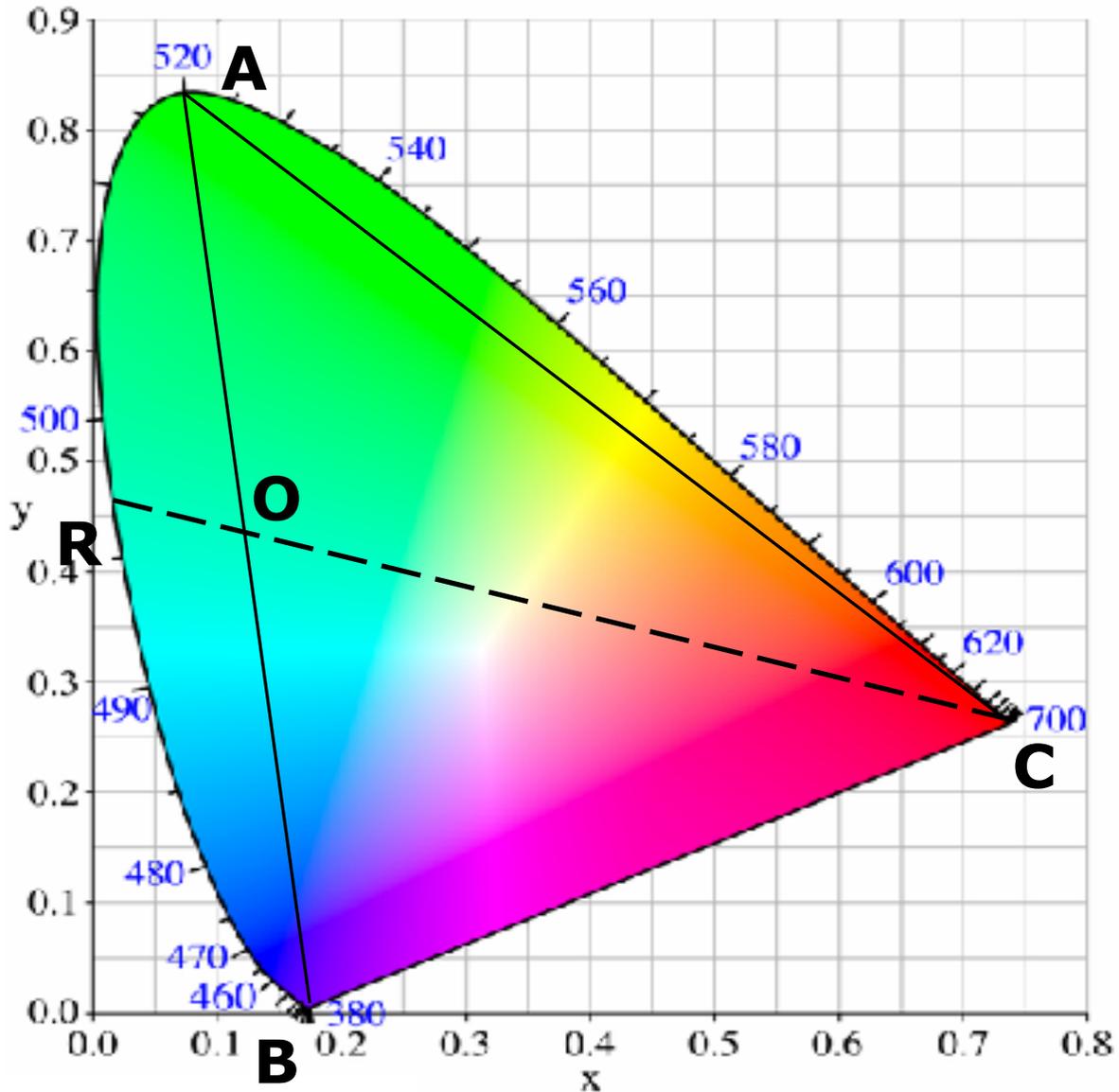
Usando una terza luce **C** si possono avere tutti i colori compresi tra A, B e C

Ad es.: in certe condizioni di apertura dei 3 diaframmi si può ottenere il colore **Q**



diaframma  
divisorio



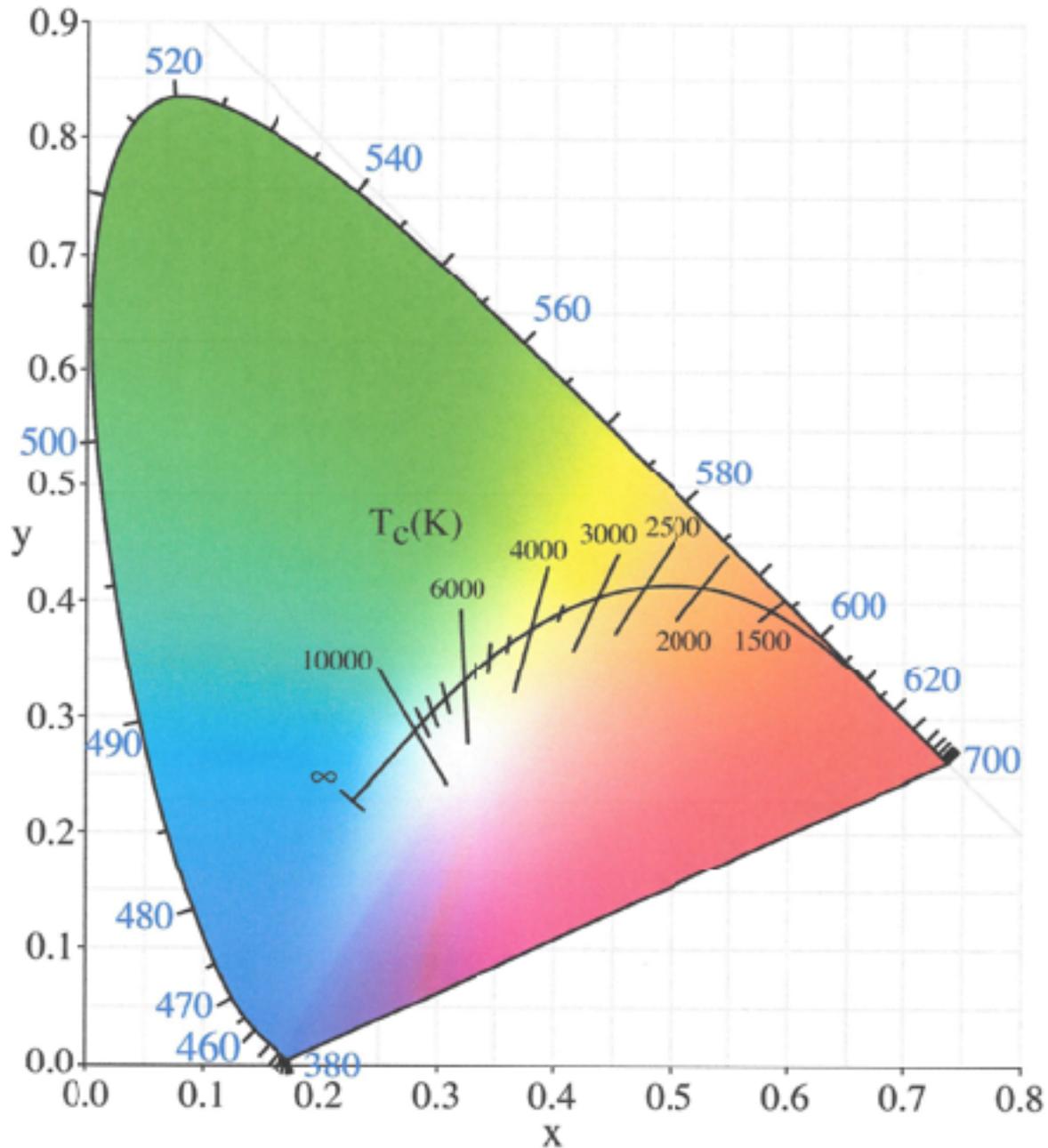


Si aggiunge luce C al semicampo  $S_2$ ;  
 quando l'osservatore medio vede i due  
 semicampi uguali si ha:

$$\underbrace{R + k_1 E_C}_{S_2} = \underbrace{k_2 E_A + k_3 E_B}_{S_1}$$

dove  $k_1$ ,  $k_2$  e  $k_3$  sono le aperture dei  
 diaframmi. E quindi:

$$R = k_2 E_A + k_3 E_B - k_1 E_C$$



Si possono ricavare i dati che caratterizzano il colore:

a)  $Y$  = intensità : **VALUE**

b)  $P$  = purezza: **CHROMA**

c)  $L$  = lunghezza d'onda dominante: **HUE**

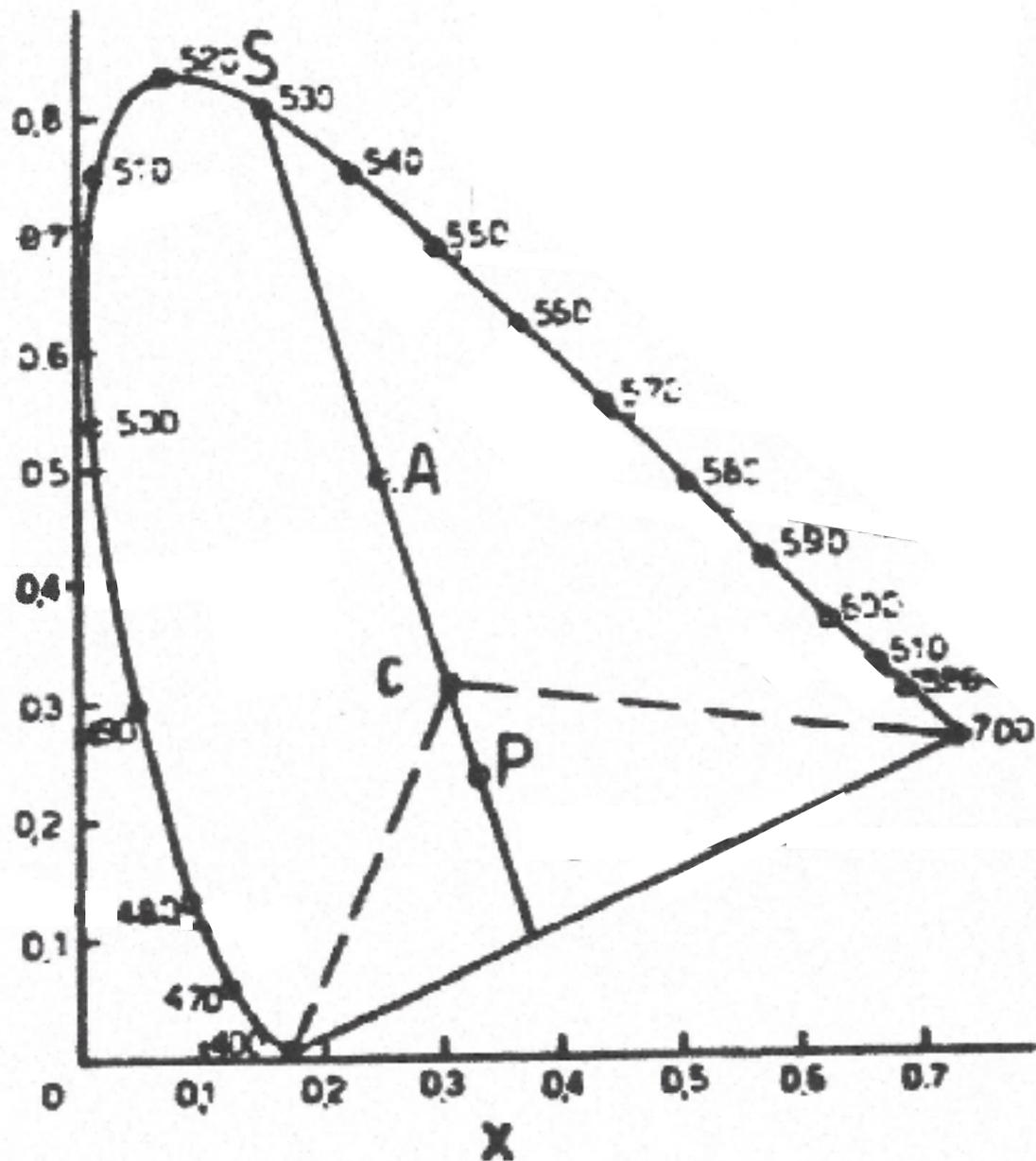
**A volte i 3 parametri vengono presentati come:**

- a) luminosità (VALUE)**
- b) saturazione (CHROMA)**
- c) tono o tonalità cromatica o tinta (HUE)**

**Essi permettono di capire:**

- a) se un colore è più chiaro o più scuro di un altro**
- b) se un colore è più o meno intenso di un altro**
- c) se un colore è un rosso, un giallo, un blue, ecc...**

**N.B. : distanze matematicamente uguali entro il triangolo non vengono percepite dall'occhio nelle stesse entità! Ad es. nei campi dell'azzurro / violetto e del verde**



**Per caratterizzare un colore sul diagramma:**

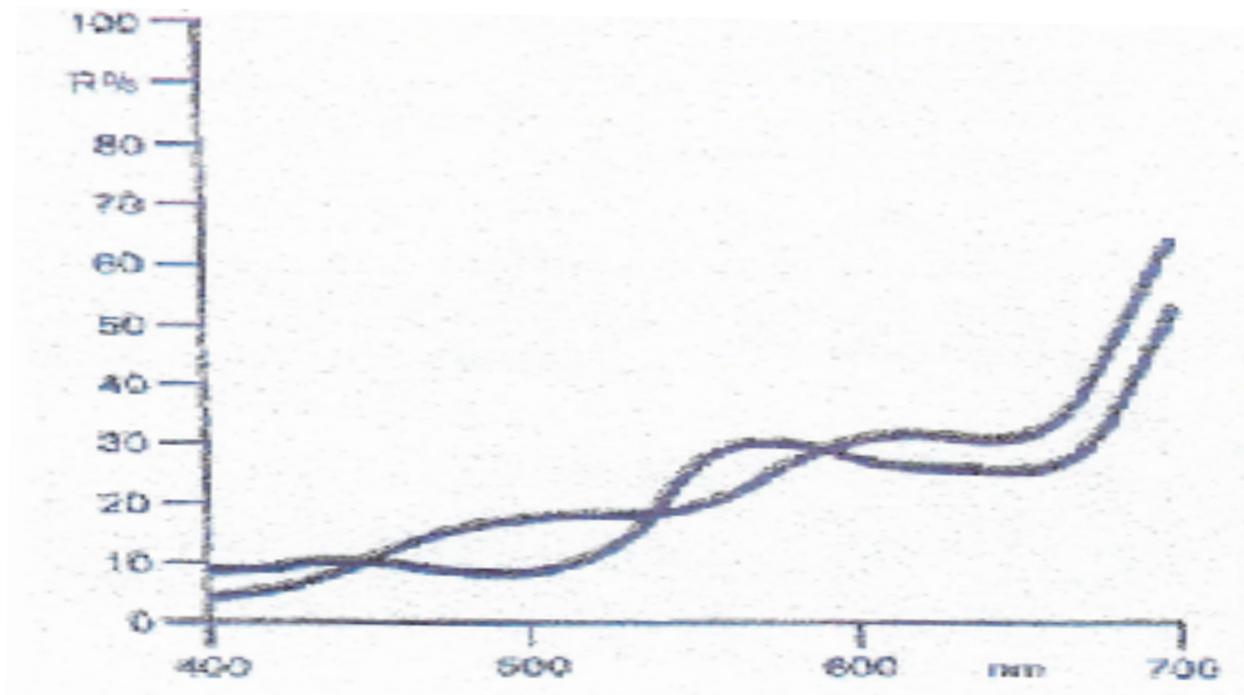
- a) calcolare X; Y e Z**
- b) ricavare x e y minuscole e riportare il punto A(x;y) sul diagramma**
- c) determinare il punto C relativo all'illuminante usato (punto acromatico)**
- d) proiettare da C il punto A, ottenendo il punto S sul luogo dei colori dello spettro**
- e) Calcolare la purezza come:**

$$P = \frac{\overline{CA}}{\overline{CS}} \cdot 100$$
- f) Leggere la lunghezza d'onda del punto S: essa è il valore di L (hue)**

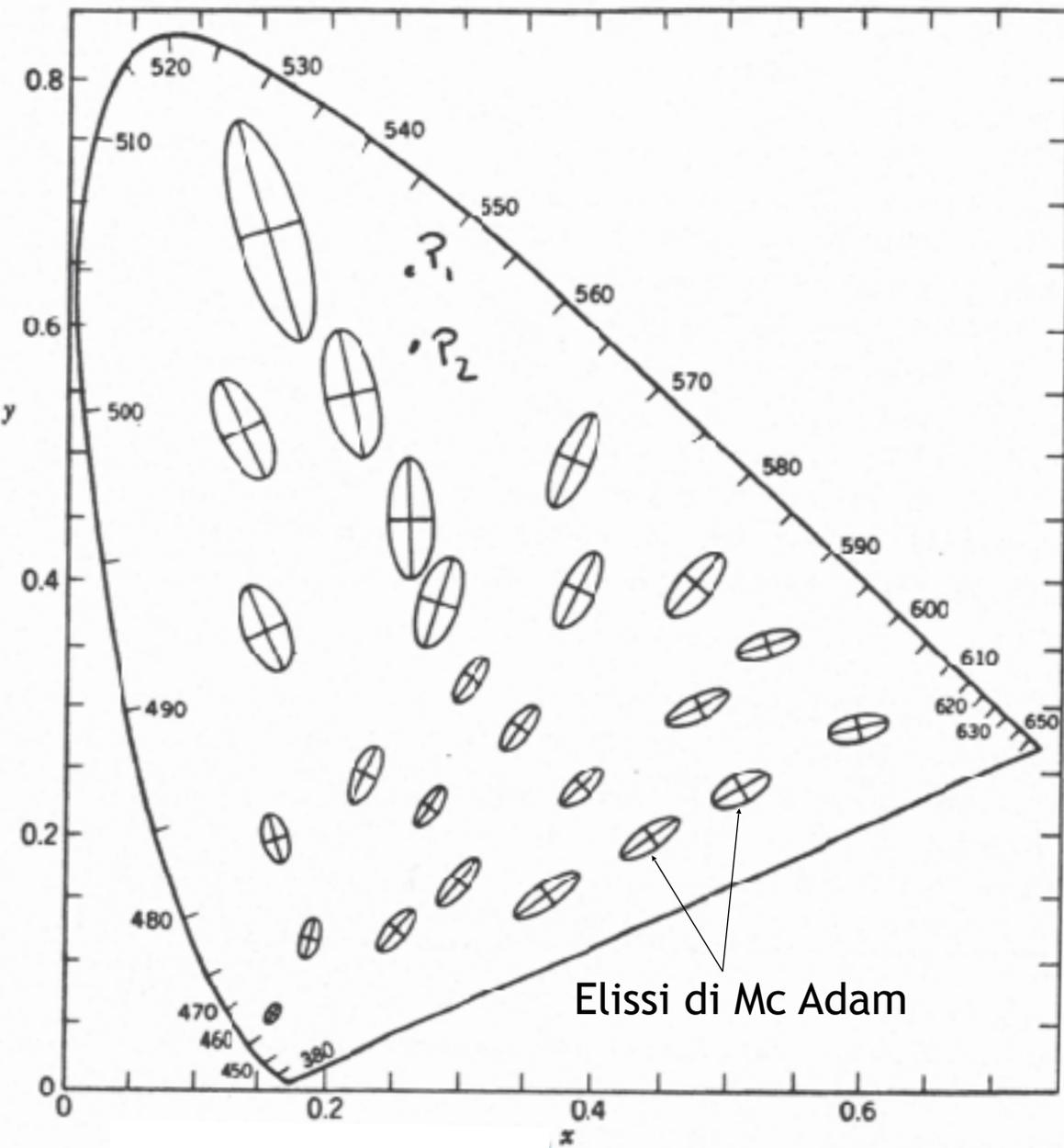
# Metamerismo

Due colori con medesimi valori tristimolus sono uguali come percezione: può succedere che (pur avendo curve spettrofotometriche diverse) sotto una certa luce abbiano valori X; Y e Z uguali (percepiti come identici) ma sotto altro illuminante i valori siano diversi (così come la percezione) → fenomeno detto **me-tamerismo**.

*Due colori sono assolutamente uguali solo quando le curve spettrali sono identiche!*



# DIFFERENZE DI COLORE



- differenza di colore tra 2 tinte data dalla distanza tra  $P_1$  e  $P_2$
- piano xy non uniforme: coppie di colori con pari differenza di colore (a livello soggettivo) danno segmenti di lunghezza diversa sul piano CIE (N.B.: ellissi ingrandite 10 volte per comodità)
- soluzione: deformare per via matematica l'area racchiusa nel diagramma CIE per rendere le ellissi uguali tra loro e trasformarle per quanto possibile in cerchi → in pratica modificando il piano CIE, che dà distanze riemanniane, in un un piano cartesiano nel quale  $(ds)^2 = (dx)^2 + (dy)^2$

# Formule colorimetriche pass-fail

**Stabiliscono in modo oggettivo l'accettazione o il rifiuto di una produzione coloristica**

**Va introdotto il concetto di spazio del colore:**

- ◆ **il colore corrisponde ad un punto nello spazio**
- ◆ **la relazione tra 2 colori è descritta come distanza fra 2 punti nello spazio**

**spazio euclideo:**

$$(ds)^2 = (dx)^2 + (dy)^2 + (dz)^2$$

**spazio di Riemman (del colore):**

**la distanza più breve è una **linea geodetica****

- ◆  $\mathbb{R}_3$  **non trasformabile in  $\mathcal{E}_3$**

**Gli spazi CIE X, Y, Z e CIE 1931 *non sono uniformi*: vengono resi quasi uniformi con trasformazioni matematiche delle coordinate ad es. CIELAB, FMC(II), ecc...**

**Moltissime sono le formule per la differenza di colore ed i vari tipi di spazio:**

- CIE UCS 1964**
- DIN 6174 (L, C, T)**
- LAB (Hunter Lab o Judd-Hunter) 1948**
- $L^*, a^*, b^*$  (CIELAB) in  $L^*a^*b^*$  o LCH (o CIE 1976)**
- JPC 79**
- CMC (L,C): CMC (1.1, 2.1)**
- ANLAB 40 in LAB o LCH**
- Nickerson-Stultz**
- SLM 3**
- FMC 1**
- FMC 2**
- SCOFIELD**
- NBS**
- Saunderson-Milner**

## Per valutare le differenze di colore:

- a) per tutti i tipi di formula si parte dai valori tristimolus X, Y e Z della referenza (tipo) e della produzione;
- b) i valori vanno inseriti nelle formule, con le quali si ricava DELTA-E (differenza di colore totale);
- c) DELTA-E è a sua volta costituito da 2 contributi: frazione luminosa (+ chiaro + scuro) e frazione cromatica (+rosso + verde + giallo + blu);
- d) tolleranze diverse per i due tipi di differenza: otticamente più tollerata la differenza di luminosità rispetto alla differenza di cromaticità.

Rivediamo il **CIE XYZ**: è uno dei primi spazi colori definito matemat. nel 1931

Deriva da una serie di esperimenti fatti alla fine degli anni '20 del XX secolo da W. David Wright e John Guild: tali esperimenti portarono alle specifiche dello spazio CIE RGB dal quale fu derivato il CIE XYZ.

La sensazione di colore è descritta da tre parametri: modello di colore con 3 componenti additive (3 colori primari); ogni colore è somma di 3 colori primari

Con  $I_\lambda$  = distribuzione di potenza spettrale si hanno i seguenti valori tristimolus in forma integrale:

$$X = \int I_\lambda \cdot \bar{x}_\lambda \cdot d\lambda = \int E_\lambda \cdot R_\lambda \cdot \bar{x}_\lambda \cdot d\lambda$$

$$Y = \int I_\lambda \cdot \bar{y}_\lambda \cdot d\lambda = \int E_\lambda \cdot R_\lambda \cdot \bar{y}_\lambda \cdot d\lambda$$

$$Z = \int I_\lambda \cdot \bar{z}_\lambda \cdot d\lambda = \int E_\lambda \cdot R_\lambda \cdot \bar{z}_\lambda \cdot d\lambda$$

**In questo modello Y significa luminosità**

**Z è quasi identico a stimolazione blu**

**X è un misto simile alla sensitività rossa della curva dei coni**

$$\begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix} = \frac{1}{b_{21}} \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} R \\ G \\ B \end{vmatrix} =$$

$$= \frac{1}{0,17697} \begin{vmatrix} 0,49 & 0,31 & 0,20 \\ 0,17697 & 0,81240 & 0,01063 \\ 0,00 & 0,01 & 0,99 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} R \\ G \\ B \end{vmatrix}$$

**I numeri riportati hanno tutti il n° di cifre significative stabilite dagli standard CIE**

## CIE 1931

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad \left. \vphantom{\frac{X}{X + Y + Z}} \right\} \text{coordinate cromatiche}$$

$(z = 1 - x - y)$

Terna usata  $\left\{ \begin{array}{l} x \\ y \\ Y \end{array} \right.$

Da qui si può costruire il diagramma a ferro di cavallo, e da questo (noti  $x$  e  $y$ ) si può ricavare **P** (*purezza o saturazione*), **S** (*lunghezza d'onda dominante / tonalità cromatica o tono*)

Nel 1931 si opera a 2°.

Esempio: Illuminante A  $x_2 = 0,44757$   $y_2 = 0,40745$

CCT(1968) = 2856 K (2848 K al tempo della standardizzazione)

## CIE 1964

$\Delta E = \Delta$  **Empfindung** (sensazione)

$$\Delta E = \sqrt{(U_1 - U_2)^2 + (V_1 - V_2)^2 + (W_1 - W_2)^2} \quad (\text{unità di misura: lunghezza})$$

dove  $W = 25\sqrt[3]{Y} - 17$  ( $1 \leq Y \leq 100$ )

$$U = 13W(u - u_0)$$

~~u = 13W(u - u\_0)~~

$$u = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z}$$

$$v = \frac{6Y}{X + 15Y + 3Z}$$

$u_0 / v_0$  : valori delle variabili  $u$  e  $v$  per l'illuminante sotto il quale si valutano le differenze di colore. Praticamente sono le coordinate di cromaticità per il bianco perfetto. Alcuni testi li chiamano  $u_{10}$  e  $v_{10}$ . Esistono delle tabelle di  $u_{10}$ ;  $v_{10}$ ;  $x_{10}$ ;  $y_{10}$  per i vari illuminanti (10 perché letture fatte a  $10^\circ$ ).

$Y_0 = 100$  (bianco perfetto per l'illumin. usato)

$$Z_0 = \frac{1 - x_{10} - y_{10}}{y_{10}} \cdot 100$$

$$X_0 = \frac{x_{10}}{y_{10}} \cdot 100$$

$$X_{10} = \sum \overline{x_{10\lambda}} \cdot E_{\lambda} \cdot R_{\lambda} ; Y_{10} = \dots ; Z_{10} = \dots \left. \vphantom{\sum} \right\} \text{componenti tricromatiche nel sistema del 1964}$$

$$x_{10} = \frac{X_{10}}{X_{10} + Y_{10} + Z_{10}} ; y_{10} = \dots ; z_{10} = \dots \left. \vphantom{\frac{X_{10}}{X_{10} + Y_{10} + Z_{10}}} \right\} \text{coordinate cromatiche nel sistema del 1964}$$

$$x_{10} + y_{10} + z_{10} = 1$$

# Hunter (1948)

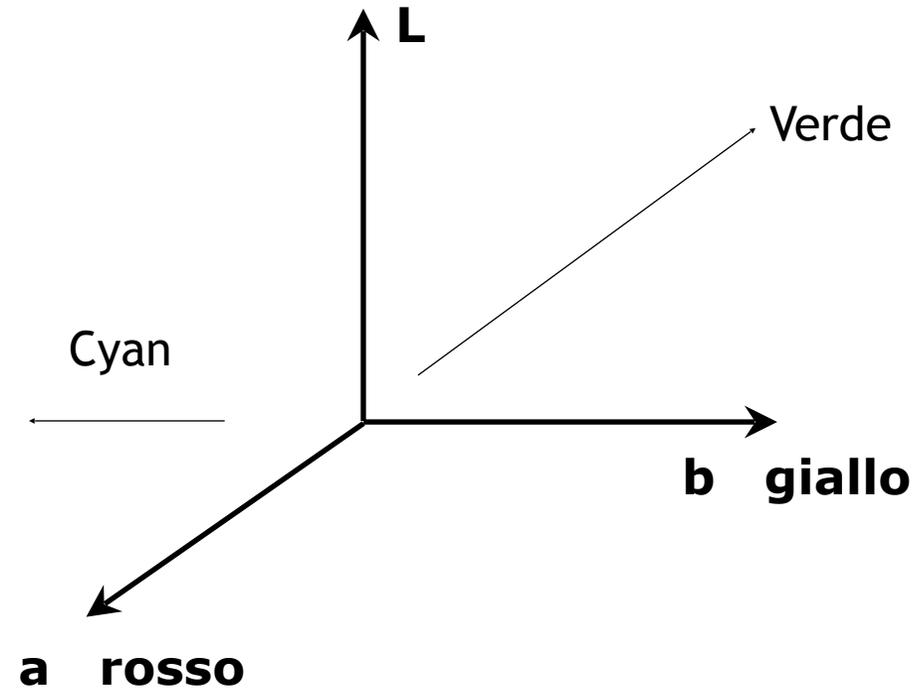
Per illuminante C

$$L = 10\sqrt{Y}$$

$$a = 17,5 \frac{X - Y}{\sqrt{Y}}$$

$$b = 7 \frac{Y - Z}{\sqrt{Y}}$$

$$0 \leq \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \leq 100$$



Si è poi passati all'Hunter Lab con coefficienti leggermente diversi

## Lab (Hunter) o Judd-Hunter

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad \text{per } 0 < Y \leq 100$$

$$L = 100 \sqrt{\frac{Y}{Y_w}} = 10\sqrt{Y} \quad \text{poichè } Y_w = 100 \text{ per tutti gli illuminanti}$$

$$a = k_a \frac{\left(\frac{X}{X_w} - \frac{Y}{Y_w}\right)}{\sqrt{\frac{Y}{Y_w}}}$$
$$b = k_b \frac{\left(\frac{Y}{Y_w} - \frac{Z}{Z_w}\right)}{\sqrt{\frac{Y}{Y_w}}}$$

qualche testo al posto di w al pedice mette 0 o n

	$k_a$	$k_b$	} <b>coefficienti di cromaticità</b>
<b>ill. A</b>	<b>185</b>	<b>38</b>	
<b>ill. C</b>	<b>175</b>	<b>70</b>	
<b>ill. D65</b>	<b>172</b>	<b>67</b>	

$$tinta = \frac{a}{b}$$

$$saturazione = \sqrt{a^2 + b^2}$$

	$X_w$	$Y_w$	$Z_w$	} <b>coordinate tricromatiche del bianco perfetto per l'illuminante usato (ossia condizioni di diffusione perfetta)</b>
<b>ill. C</b>	<b>98,07</b>	<b>100</b>	<b>118,22</b>	
<b>ill. A</b>	<b>109,829</b>	<b>100</b>	<b>35,547</b>	
<b>ill. D65</b>	<b>95,018</b>	<b>100</b>	<b>108,845</b>	

**Ad esempio per illuminante C si avrà:**

$$L = 10\sqrt{Y}$$

$$a = 17,5 \frac{1,02X - Y}{\sqrt{Y}} = 175 \frac{1,02X - Y}{L}$$

$$b = 7,0 \frac{Y - 0,8467Z}{\sqrt{Y}} = 70 \frac{Y - 0,8467Z}{L}$$

# **L\* a\* b\* (CIE LAB)**

CIELAB 76  
CIE 1976  
DIN 6174

**Il sistema CIE L\* a\* b\* è una definizione migliore dell'Hunter Lab per i colori scuri. Il sistema non si discosta molto dall'ANLAB 44 di cui è una semplificazione matematica**

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

$$L^* = 116 \cdot \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_w}} - 16 \quad (\text{ma qualche testo riporta } 117 \cdot \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_w}} - 17)$$

$$\text{ossia } 25 \cdot \left( \sqrt[3]{100 \frac{Y}{Y_w}} \right) - 16 \quad ; \text{ ad es. se } Y = 72,9 \text{ le due formole danno risultati simili (88,4 vs. 88,3)}$$

$$a^* = 500 \cdot \left( \sqrt[3]{\frac{X}{X_w}} - \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_w}} \right)$$

$$b^* = 200 \cdot \left( \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_w}} - \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_w}} \right)$$

$$\Delta L^* = L_T^* - L_S^* ; \Delta a^* = a_T^* - a_S^* ; \Delta b^* = b_T^* - b_S^* \quad \text{dove T = trial (prova) ed S = standard}$$

$X_w$ ;  $Y_w$  e  $Z_w$  dipendono dal tipo di illuminante (le tabelle sono le medesime dell' Hunter Lab)

Con le formule precedenti abbiamo:

bianco perfetto       $Y = 100$        $L^* = 100$

nero perfetto       $Y = 0$        $L^* = -16$  (oppure -17)

In qualche testo si trovano le formule espresse con i parametri  $X^*$  ;  $Y^*$  e  $Z^*$

$$X^* = \sqrt[3]{\frac{X}{X_w}} ; Y^* = \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_w}} ; Z^* = \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_w}}$$

e ad esempio:  $L^* = 116 \cdot Y^* - 16$  ; ecc ...

Qualora  $\frac{X}{X_w}$  ;  $\frac{Y}{Y_w}$  e  $\frac{Z}{Z_w}$  siano  $\leq 0,008856$  vengono applicate relaz. modificate

$$\left(\frac{6}{29}\right)^3$$

Ad esempio  $X^* = 7,787 \cdot \frac{X}{X_w} + 0,138$  ed analoghe modifiche per  $Y^*$  e  $Z^*$

$$\frac{1}{3} \left(\frac{29}{6}\right)^2$$

$$\left(\frac{4}{29}\right)$$

**Il CIE 1976 può essere espresso anche con il sistema  $L^*$ ,  $C^*$ ,  $h^*$  (CIELCH)**

**$L^*$  = **brightness** (intensità o luminosità o valore o chiarezza o "*luminance*")**

**$h^*$  = **hue** (tono o tinta se secondo standardizzazione UNI)**

**$C^*$  = **chroma** (saturazione).**

$$L^* = 116 \cdot \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_w}} - 16$$

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

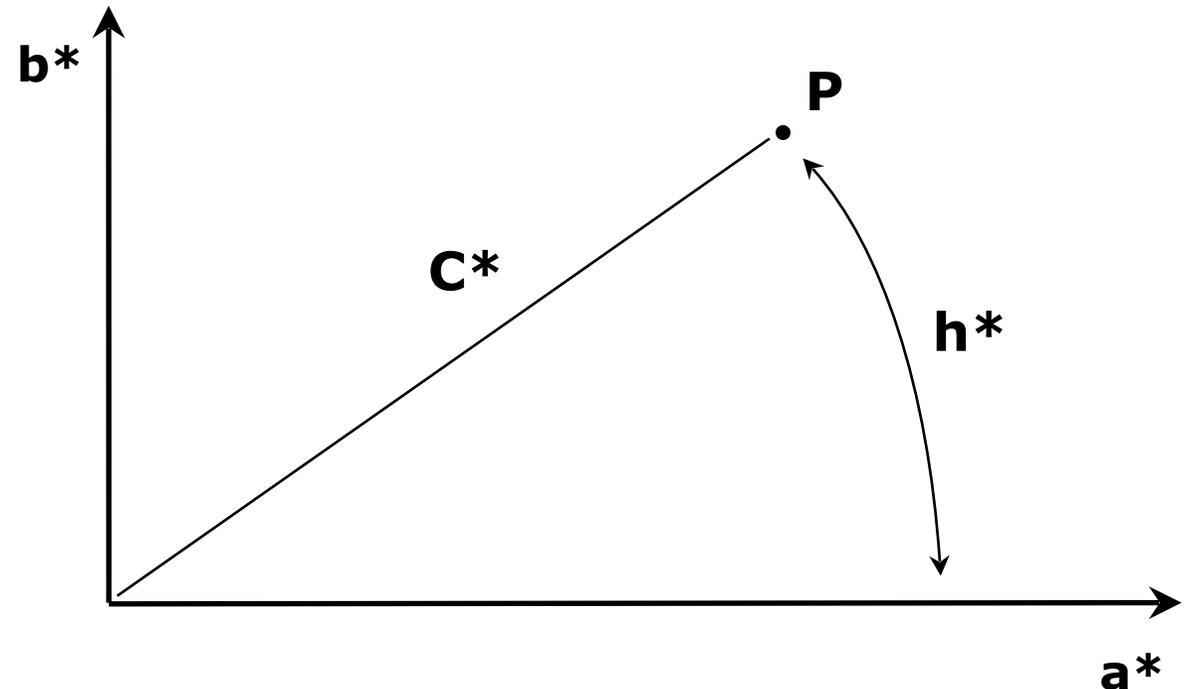
$$h^* = \arctg \frac{b^*}{a^*} = \alpha \text{ (in gradi)}$$

← saturazione S

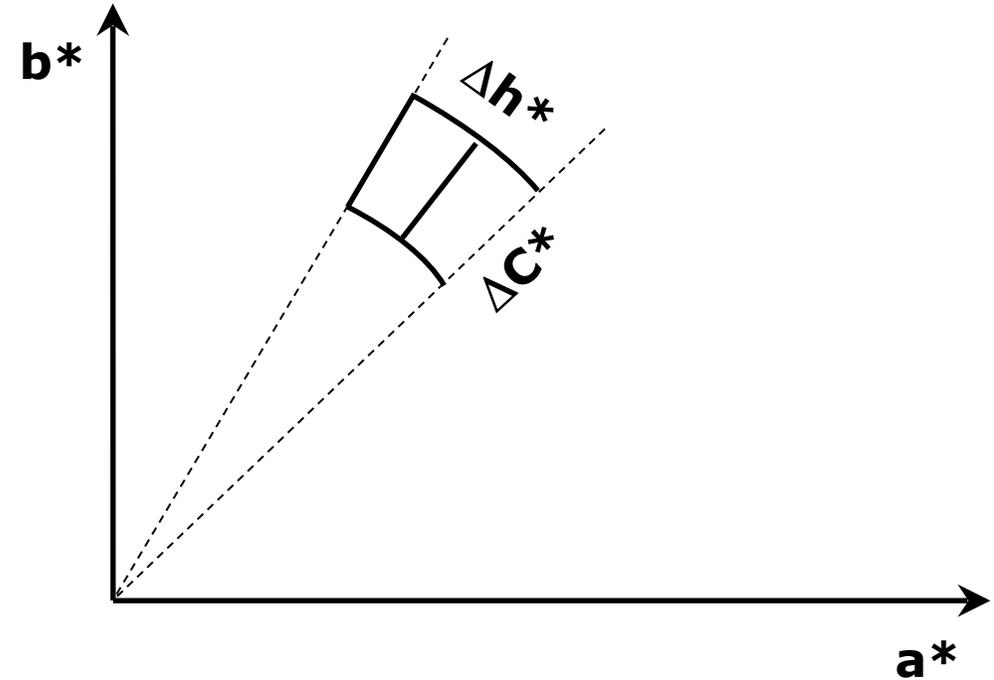
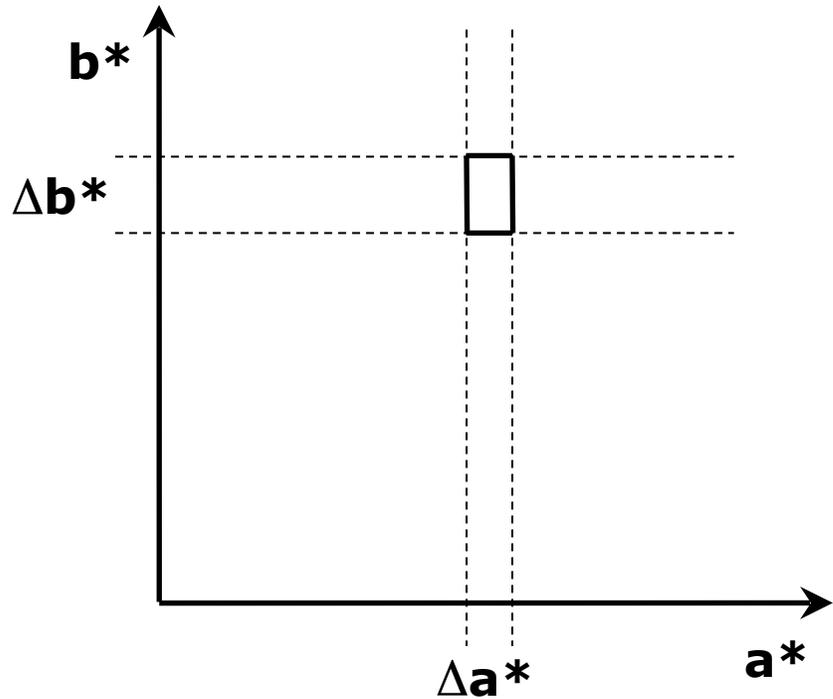
← tono T

$$\Delta E_{LCH}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta C^*)^2 + (\Delta H^*)^2}$$

Dove  $\Delta H^*$  esprime la differenza  
metrica di tono



**Le differenze vengono date in termini di  $\Delta H^*$  e  $\Delta C^*$  oltre che di  $\Delta L^*$**



**$\Delta L^*$  =  $L_T^* - L_S^*$  (esprime la differenza di chiarezza)**

**$\Delta H^*$  (esprime la differenza di tono non in gradi)**

**$\Delta C^*$  =  $C_T^* - C_S^*$  (esprime la differenza cromatica: campione + puro o + torbido)**

- **Vale il solito discorso per i rapporti  $\leq 0,008856$  , dove si usano anche qui relazioni modificate**
- **Nella valutazione visiva si può dire che l'occhio percepisce in egual modo differenze strumentali di  $H = 1$ ,  $L = 2$  e  $C = 4$**
- **Il "*color space CIELCH*" usa praticamente coordinate polari nello spazio nella versione coordinate cilindriche:**

**coordinate polari nello spazio**

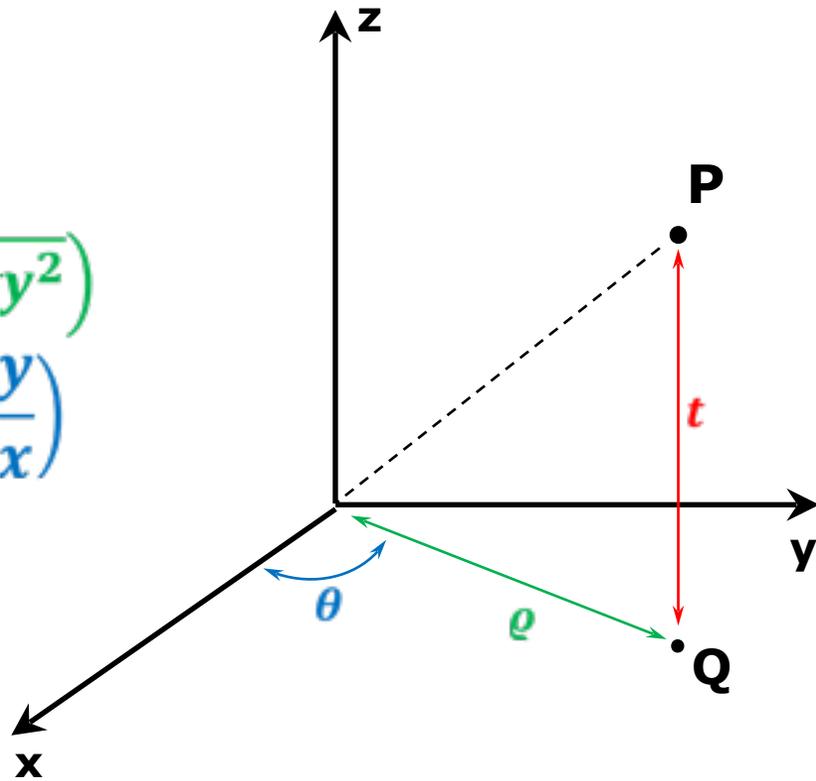
**coordinate sferiche  $\rho; \theta; \phi$   
(una distanza e due angoli)**

**coordinate cilindriche  $t; \rho; \theta$  ; (due distanze ed un angolo)**

$$t \equiv L^* (\equiv z)$$

$$\rho \equiv C^* (\equiv \sqrt{x^2 + y^2})$$

$$\theta \equiv h^* (\equiv \arctg \frac{y}{x})$$



**Rosso = 0°**

**Giallo = 90°**

**Verde = 180°**

**Azzurro = 270°**

**Asse a\* =  $\begin{matrix} + a^* \\ - a^* \end{matrix}$  | rosso | verde**

**Asse b\* =  $\begin{matrix} + b^* \\ - b^* \end{matrix}$  | giallo | blu**

**La S.D.C. consiglia anche di usare la relazione ANLAB con il fattore 44 al posto di 40 dato che i valori di  $\Delta E$  nello spazio ANLAB (44) sono praticamente identici a quelli calcolati nello spazio CIELAB**

## CIE 1976 $L^* u^* v^*$

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2} \quad \text{per } 1 \leq Y \leq 100$$

$$L^* = 25 \cdot \left( \sqrt[3]{100 \frac{Y}{Y_w}} \right) - 16$$

$$u^* = 13L^*(u' - u_0')$$

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z}$$

$$v^* = 13L^*(v' - v_0')$$

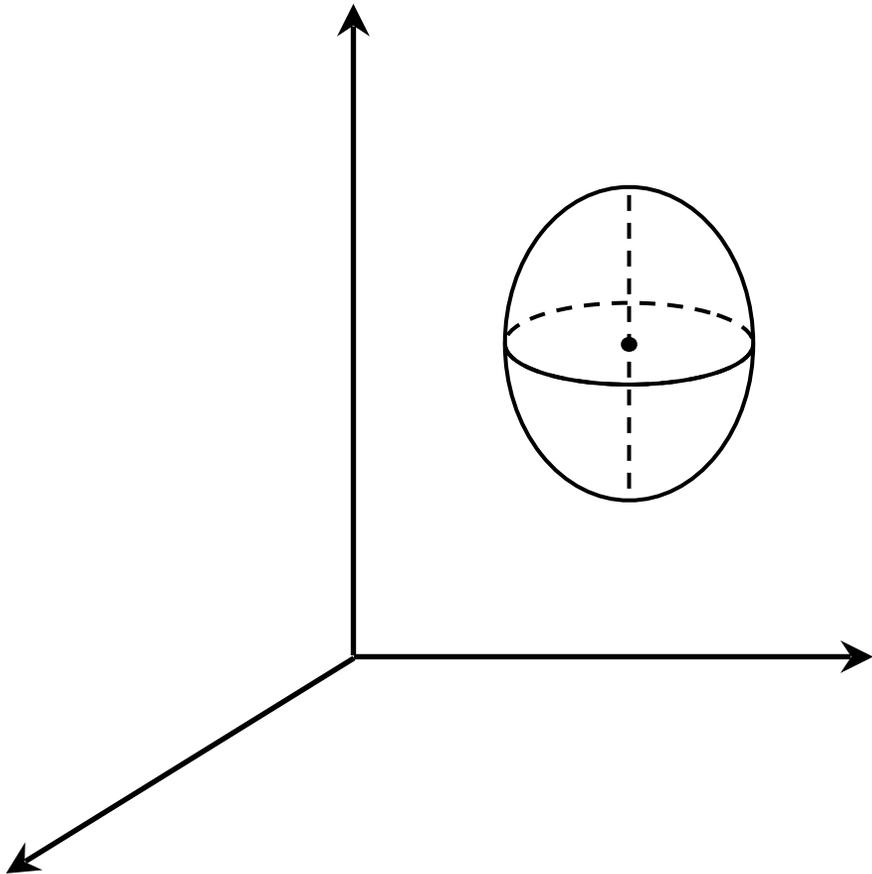
$$v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z}$$

$u_0'$  e  $v_0'$  = coordinate di cromaticità del bianco perfetto per l'illuminante utilizzato

# CMC

**E' una modifica del CIELCH che migliora l'accordo tra le differenze di colore fra ciò che si vede e ciò che si misura**

**Il  $\Delta E$  con il sistema CMC risulta come un ellissoide attorno al colore standard**



**Hue  $\rightarrow S_H$**

**Chroma  $\rightarrow S_C$**

**Lightness  $\rightarrow S_L$**

***L'ellissoide rappresenta il volume di accettazione***

**In situazioni commerciali l'ammontare della differenza di colore considerata accettabile è determinata applicando un fattore commerciale "cf" a tutte le dimensioni dell'ellissoide**

**In questo caso  $\Delta E_{CMC} \leq cf$  è considerato accettabile**

$$\Delta E_{CMC} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{lS_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_{ab}^*}{cS_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H_{ab}^*}{S_H}\right)^2}$$

**Ad esempio CMC (2:1): si ha  $l = 2$  e  $c = 1$**

## **Altre formule:**

- **UNILAB 83**
- **FMC I (Friele, McAdam, Chickening)**
- **FMC II**
- **Scofield**
- **NBS (sistema Scofield modificato)**
- **Reilly *Cube Root*: si parte dalle relazioni *Cube Root* di Glasser modificate da Reilly , inserendo una matrice primaria in modo da ottenere migliore rispondenza con i dati visivi. Usano valori di L, a e b derivanti da valori RGB. Consigliata dalla CIE nel 1967**
- **Sanderson Milner: partirono dalle equazioni ANLAB 40 apportando alcune modifiche**
- **Sistema Rd, a, b: modifica dell'Hunter Lab; utilizza altri coefficienti**

# RICETTAZIONE STRUMENTALE

**Scopo:** avere riproduzioni con curve spettrali fedeli a quelle dei tipi da ottenere

**Procedimento:** utilizzo di funzioni matematiche che riescano a correlare i valori di riflessione (noti dai dati spettrofotometrici) con i valori delle concentrazioni (ovvero le incognite da determinare)

**Funzione maggiormente usata:** KUBELKA-MUNK (1931) in versione semplificata (buona per toni chiari e medi, meno per quelli scuri)

$$\left(\frac{K}{S}\right)_\lambda = \frac{(1-R_\lambda)^2}{2R_\lambda} = \text{cost} \cdot \text{conc}$$

**K** → costante di assorbimento dipendente dal colorante

**S** → costante di diffusione (scattering) dipendente dal substrato sul quale il colorante viene applicato (WB, WW, WG, fibra)

**Necessario un grande lavoro preparatorio di “istruzione” del calcolatore; consiste di diversi passaggi:**

- **tingere il substrato con il colorante a varie concentrazioni (coprendo tutto il campo di impiego)**
- **leggere le riflettanze degli standard (si ottengono curve come quelle mostrate in precedenza)**

▪ **passare da valori di  $R_\lambda$  a valori di  $K/S$ , verificando che questi ultimi siano proporzionali alla conc. del colorante. In pratica si calcolano dei **coefficienti****

**specifici di assorbimento** come: 
$$\frac{(K/S)_{tintura}}{conc}$$

▪ **tenere infine conto della colorazione del substrato togliendo a  $K/S$  della tintura il  $K/S$  del greggio:**

$$\alpha_\lambda = \frac{(K/S)_{\lambda,tintura} - (K/S)_{\lambda,greggio}}{conc}$$

**Così viene creato un archivio delle caratteristiche dei coloranti utilizzati**

## **Riproduzione di un colore**

**Si opera secondo diverse fasi:**

- a) il colore viene letto allo spettrofotometro**
- b) la sua curva di riemissione viene analizzata su tutto il campo del visibile (da 400 a 700 nm) o con continuità oppure come nei nostri casi ogni 20 nm (o di 10 in 10 o addirittura di 5 in 5 negli strumenti più evoluti)**
- c) i valori di riflessione vengono forniti all'elaboratore, assieme ad altri dati che si riferiscono al tipo di materiale da tingere (WB, WW, WG, lana, poliestere, viscosa, etc...) e ai coloranti che si intendono usare in ricetta in funzione delle solidità richieste, prezzi, etc...**

**A questo punto l'elaboratore è in grado di calcolare tutte le combinazioni 3 a 3 o 4 a 4 dei coloranti standard archiviati, in modo da ottenere come dato finale una combinazione che abbia una curva spettrale molto prossima a quella della referenza**

**Ipotesi:** procedimento di calcolo effettuato per via manuale / grafica

- Esecuzione:**
- tracciare su carta millimetrata trasparente le curve  $R$  vs.  $\lambda$  per i colori standard
  - tracciare su foglio di carta millimetrata la curva del colore da riprodurre
  - per quest'ultimo foglio sovrapporre progressivamente i vari lucidi delle curve per i colori standard, per comprendere quali hanno andamento simile a quello della curva del riferimento da ottenere nel settore dello spettro dove il colorante esaminato svolge la sua azione
  - scegliere così i coloranti più adatti per la ricetta, valutandone le conc. di impiego per estrapolazione dei valori delle concentrazioni dalle forme standard

**Su questi stessi presupposti si basa il funzionamento dell'elaboratore (solo che al posto di  $R_\lambda$  esso utilizza la funzione  $K/S$ )**

## Operazioni svolte dall'elaboratore:

- 1) dai valori di R del colore da ottenere, ricava altrettanti valori di K/S
- 2) combina tra loro i coloranti standard e le relative conc. di impiego fino ad ottenere i K/S della curva del "tipo" (tenendo in considerazione combinazioni di sole conc. positive)

In una miscela di coloranti i valori di K/S si sommano (a meno che essi non si influenzino a vicenda); ad una data  $\lambda$  si avrà:

$$(\alpha_{1\lambda} \cdot c_1) + (\alpha_{2\lambda} \cdot c_2) + \dots + (\alpha_{n\lambda} \cdot c_n) + (K/S)_{\lambda} \text{greggio} = (K/S)_{\lambda} \text{combinaz. risultante}$$

Ad es. se sono stati esaminati **16 valori di  $\lambda$**  → **16 equazioni in  $n$  incognite** (le concentrazioni degli  $n$  coloranti)

Sistema di equazioni risolto con la teoria dei minimi quadrati: concentrazioni stabilite in modo da minimizzare i quadrati degli scostamenti tra i  $(K/S)_{\text{calcolati}}$  e i  $(K/S)_{\text{effettivi}}$

**3) affinché la referenza da riprodurre e la riproduzione siano percepiti come uguali, viene imposto (*per l'illuminante usato*) che i valori tristimolus della curva calcolata e della curva da ottenere siano uguali:**

**a) calcolo dei valori tristimolus:**

$X_T, Y_T, Z_T \rightarrow$  per il tipo (T = tipo)

$X_R, Y_R, Z_R \rightarrow$  per il riprodotto (R = riprodotto)

**b) valutazione delle differenze:**

$$\Delta X = X_T - X_R$$

$$\Delta Y = Y_T - Y_R$$

$$\Delta Z = Z_T - Z_R$$

**c) determinazione della variazioni di  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  e  $\Delta Z$  dando alle conc. dei coloranti incrementi ben definiti:**

$$\frac{\partial X}{\partial c_1}, \frac{\partial Y}{\partial c_1}, \frac{\partial Z}{\partial c_1} \text{ e così via per gli altri componenti}$$

**d) calcolo delle variazioni di conc. di ogni singolo colorante per determinate variazioni di  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  e  $\Delta Z$ :**

$$\frac{\partial c_1}{\partial X} ; \frac{\partial c_1}{\partial Y} ; \frac{\partial c_1}{\partial Z} \text{ e cos\`i via per gli altri componenti}$$

**e) determinazione delle correzioni:**

$$\Delta c_1 = \frac{\partial c_1}{\partial X} \cdot \Delta X + \frac{\partial c_1}{\partial Y} \cdot \Delta Y + \frac{\partial c_1}{\partial Z} \cdot \Delta Z \text{ e cos\`i via per gli altri componenti}$$

**f) verifica che il metamerismo (viraggio di colore da luce C o D65 ad A) sia entro i limiti stabiliti**

**A fine elaborazione vengono stampate le ricette trovate in ordine crescente di costo e con l'indicazione dell'indice di metamerismo e dello scostamento dal "*tipo*" da riprodurre.**

**Secondo le esigenze viene utilizzata la ricetta più economica, oppure quella che pur non essendo tale, riprodurrà il più fedelmente possibile il campione del cliente.**

**La ricetta ottenuta va collaudata in laboratorio prima di portarla su scala industriale!**

## Perché eseguire il collaudo???

- **Differenze tra substrato da tingere e quello utilizzato in fase di costruzione dell'archivio colori**
- **Possibili interferenze tra coloranti**
- **Non linearità delle funzioni matematiche utilizzate su tutto il campo di impiego, specialmente in prossimità della saturazione della fibra (caso dei colori scuri)**

### Per eventuali correzioni dopo il collaudo:

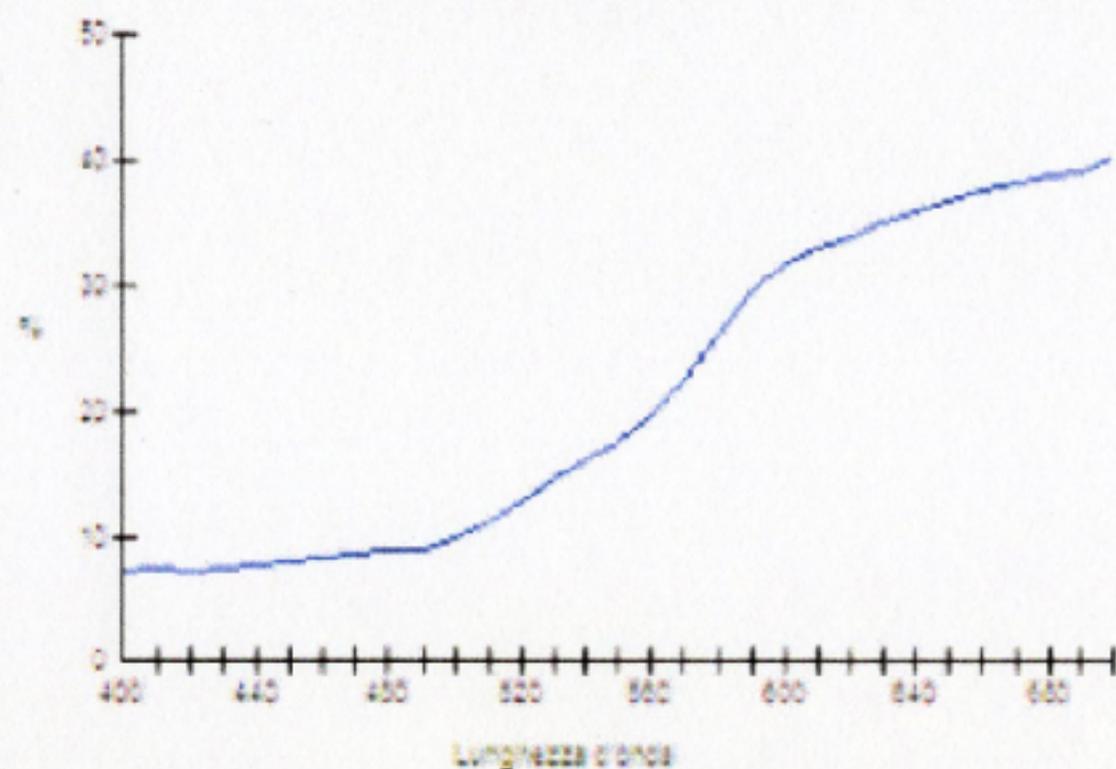
- **Si eseguono nuovamente le operazioni a); b); c); d) ed e) appena viste: stavolta i valori di  $X_R$ ,  $Y_R$  e  $Z_R$  sono quelli che emergono dalla lettura del substrato tinto secondo la ricetta ricavata strumentalmente**
- **I  $\Delta c$  ottenuti vengono utilizzati per determinare le conc. corrette:**  
$$c_n(\text{corretta}) = c_n(\text{iniziale}) + \Delta c_n$$

**(una per ciascun colorante)**

## **Vantaggi della ricettazione strumentale**

- ✓ **Possibilità di esaminare in poco tempo numerose combinazioni di coloranti (senza peraltro eseguire materialmente le tinture)**
- ✓ **Possibilità di dare un giudizio qualitativo sul grado di metamerismo**
- ✓ **Possibilità di scartare immediatamente le combinazioni che darebbero un risultato poco soddisfacente**
- ✓ **Sicurezza di applicare le ricette più economiche**

## 7050 ROMANA OP



## Valori di riflettanza

400

700

31

400	7,22	7,41	7,32	7,58	7,99
450	8,25	8,29	8,57	8,92	9,14
500	9,86	11,29	13,08	14,74	16,11
550	17,51	19,54	22,58	26,29	29,51
600	31,80	33,03	33,90	34,98	36,07
650	36,92	37,74	38,38	38,75	39,23
700	40,40	0,00	0,00	0,00	0,00
750	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Specularità:

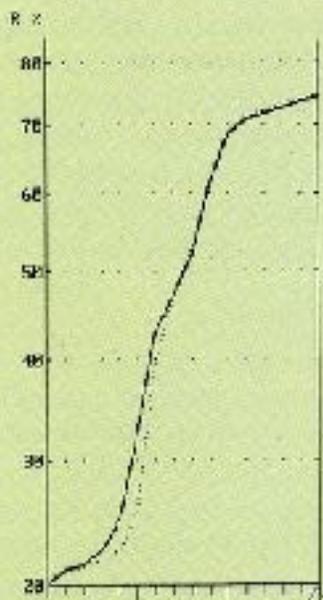
Status:

CRIILL

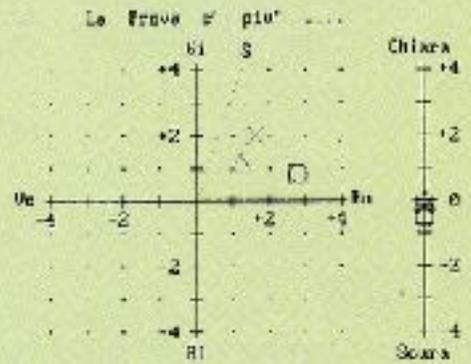
Illum	L*	a*	b*	C*	h*	X	Y	Z	x	y
D65	51,72	18,51	29,61	34,92	58,00	22,68	19,89	8,88	0,441	0,387
TL84	53,78	17,62	33,49	37,84	62,25	26,60	21,77	5,13	0,497	0,407
CwF	51,81	17,41	29,84	34,54	59,74	23,11	19,97	9,58	0,439	0,379

Osservatore:

10

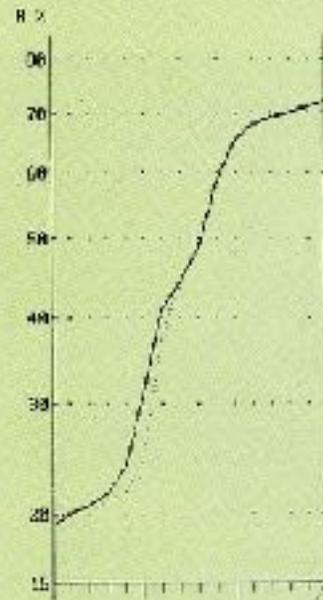


	CIELAB	DL	DA	DB	DE
DEIXO	D65/10°	-0.5	2.0	8.0	3.8
	A /10°	-0.2	1.6	2.6	2.5
	C /10°	0.5	2.7	8.9	2.9
	F /10°	-0.1	1.3	1.1	1.7

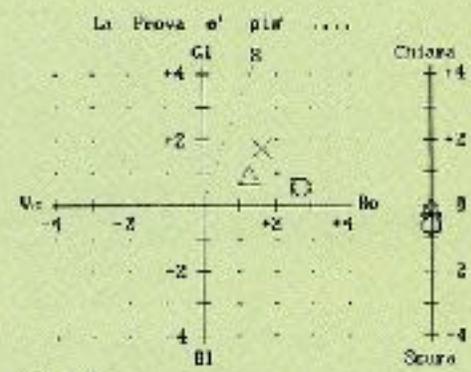


(A)

D/S

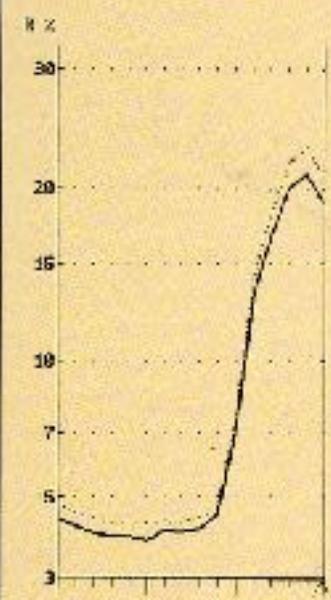


	CIELAB	DL	DA	DB	DE
DEIXO	D65/10°	-0.6	2.8	8.6	2.9
	A /10°	-0.8	1.6	1.7	2.4
	C /10°	-0.6	2.7	8.6	2.8
	F /10°	-0.2	1.8	8.9	1.5

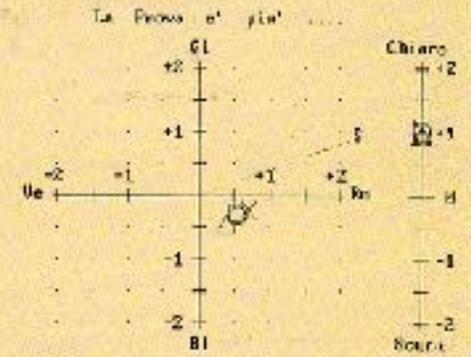


(B)

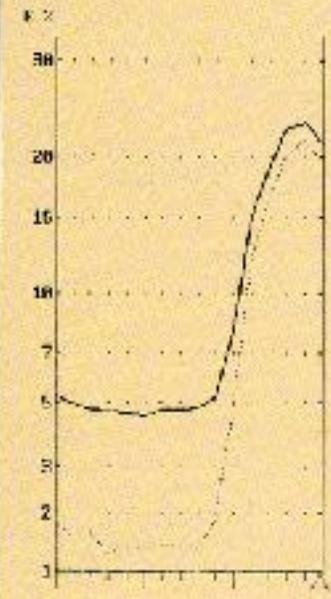
65/0



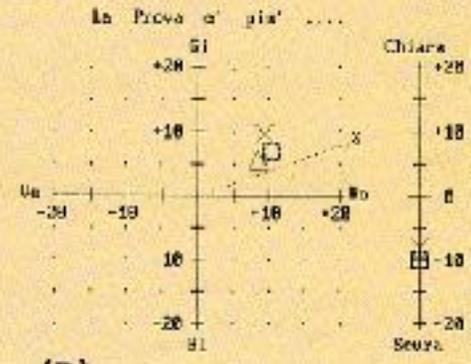
	CIELAB	DL	DA	DB	DE
DEIXO	D65/10°	1.8	8.5	-8.8	1.2
	A /10°	1.8	8.7	-8.2	1.3
	C /10°	1.8	8.5	-8.3	1.2
	F /10°	0.9	8.4	8.5	1.1



(C)



	CIELAB	DL	DA	DB	DE
DEIXO	D65/10°	-9.9	18.4	6.6	18.8
	A /10°	-8.2	9.9	9.6	15.7
	C /10°	-9.8	18.2	6.7	15.6
	T /10°	-18.4	0.0	5.8	14.2



(D)

## Stampa Imitazione N. 2

Formulazione: **2** Standard: **L1BEIPUM** **BEIGE PUMA**

Spettroteca: Macro:

Base di Taglio Resa Spett

Peso batch: **1,00** Costo: **2,56** Formula: **CIELa\*b\*** Oss: **10**

ILL	DE	DL	DA	DB
D65	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,00
TL84	<b>0,14</b>	-0,05	0,13	-0,01
A	<b>0,05</b>	0,00	-0,05	0,00

Ind. Met: **0,14**

Codice	Descrizione	Conc.	UM	Quantità	Impulsi
			%		
SB2	BIANCO LED	<b>75,3564</b>	%	0,754	0
SB4	BRUNO	<b>2,1159</b>	%	0,021	0
SB11	NERO	<b>1,0502</b>	%	0,011	0
SB13	OCRA	<b>21,4774</b>	%	0,215	0



**GRAZIE**

per la vostra

**ATTENZIONE !**