



IPERION CH.it



XVI Edizione SPAIS
Cefalù, 29 luglio 2022

I colori del mondo e il mondo dei colori

ANNA MARIA GUELI

Laboratori PH3DRA

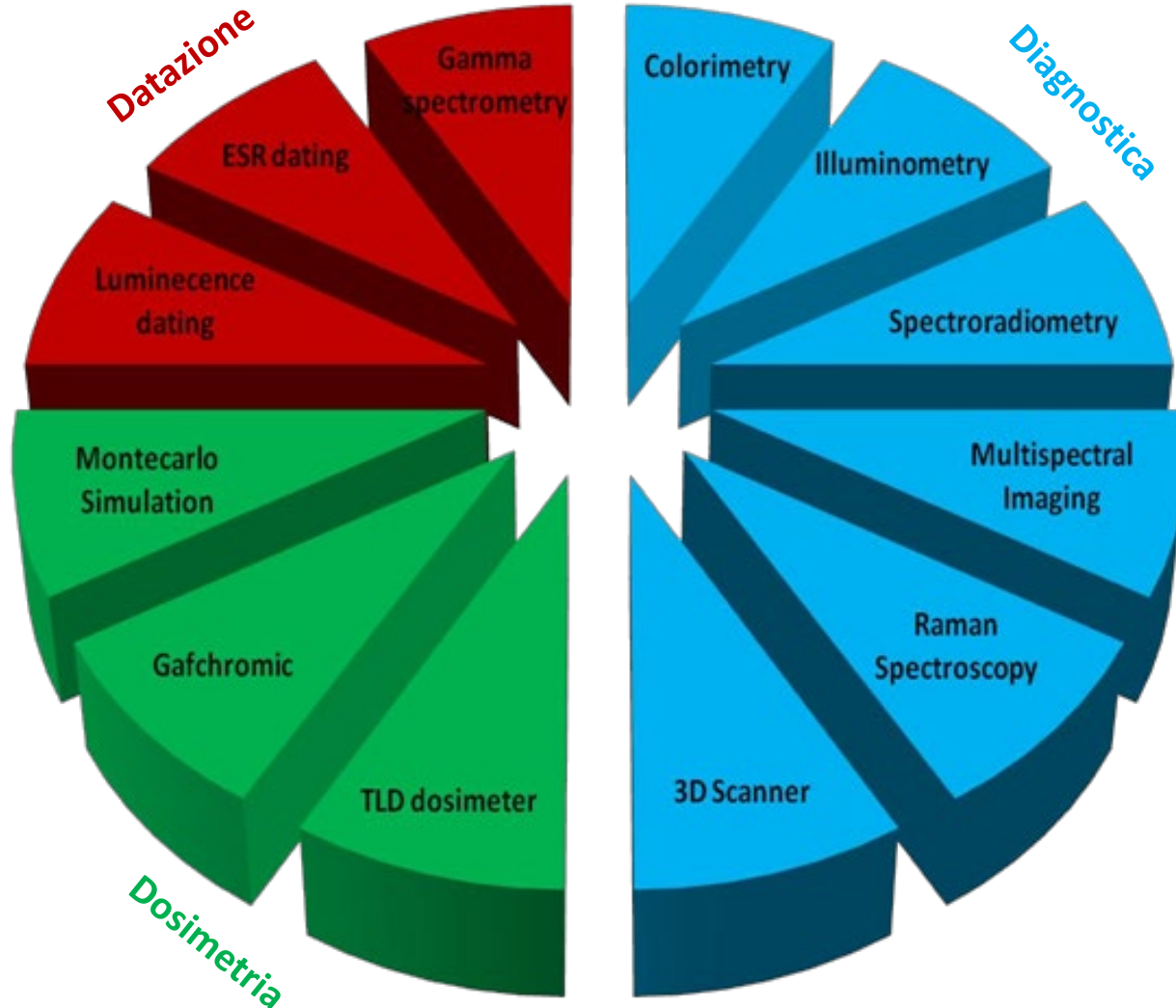
UniCT & INFN_CHNet_CT

anna.gueli@unict.it

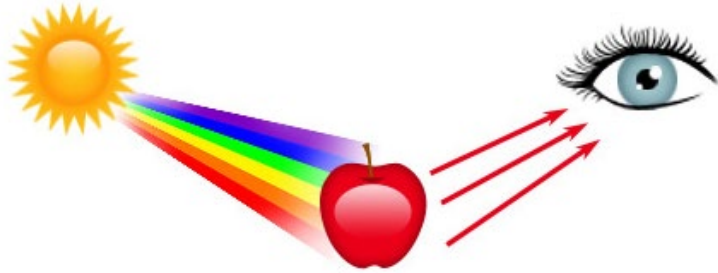
Laboratori PH3DRA



PHysics for
Dating
Diagnostics
Dosimetry
Research and
Applications



I colori del mondo



Absorbs All
Creates **Heat**



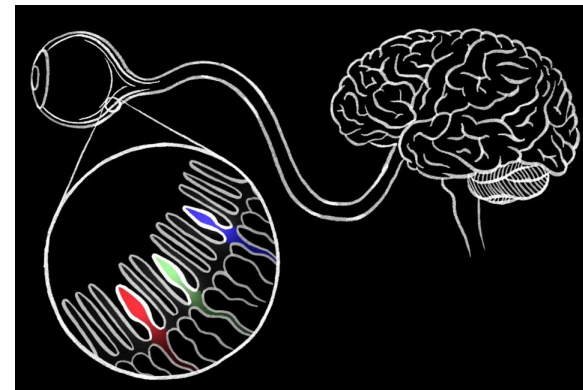
Reflects Red
Absorbs OYGBIV



Reflects All
ROYGBIV

Tre protagonisti per la percezione del colore:

- la sorgente luminosa
- l'oggetto colorato
- l'occhio «normovedente»



I colori del mondo

Gli oggetti non hanno un «colore» perché il colore è una percezione = **quello che vediamo**

Source emits photons



Photons travel in a straight line

And then some reach an eye/camera and are measured.



They hit an object. Some are absorbed, some bounce off in a new direction.

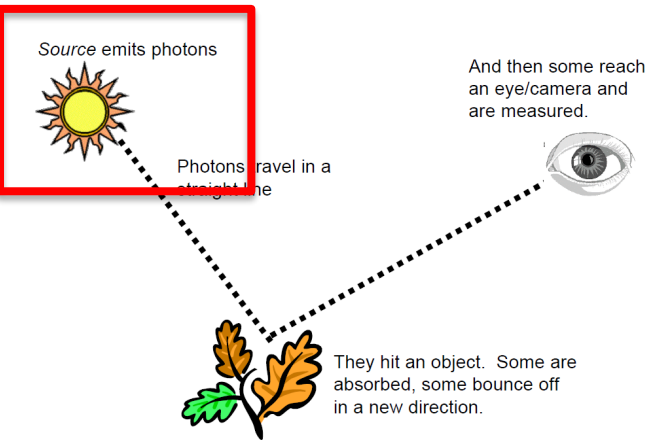


La definizione di un colore è estremamente complessa in quanto **percezione ed interpretazione soggettiva.**

A differenza delle misure di lunghezza o di peso, non esiste una scala fisica per misurare il colore.

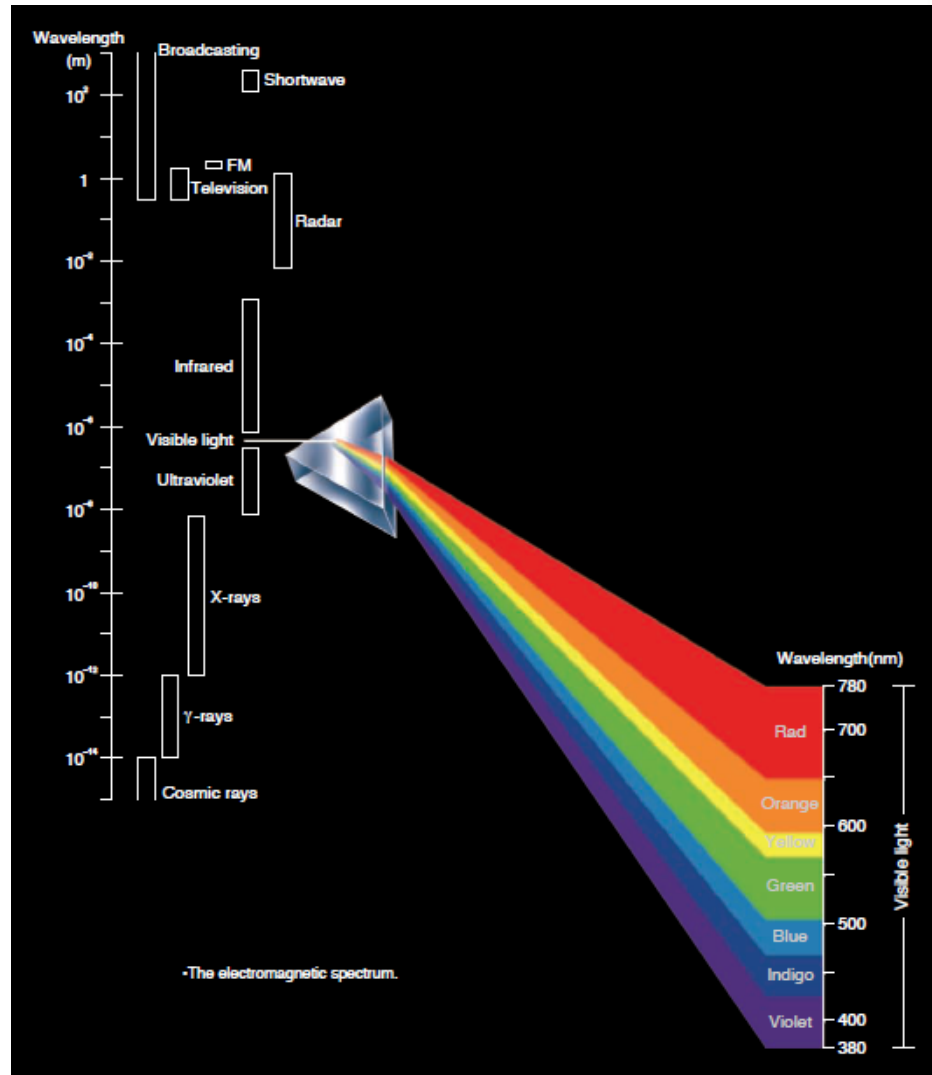


La sorgente luminosa



La percezione umana corrisponde alla porzione dello spettro elettromagnetico chiamata **visible = luce**.

Considerando la lunghezza d'onda, la regione del visibile è compresa approssimativamente tra **380 e 780nm**.



L'occhio e la visione

Source emits photons

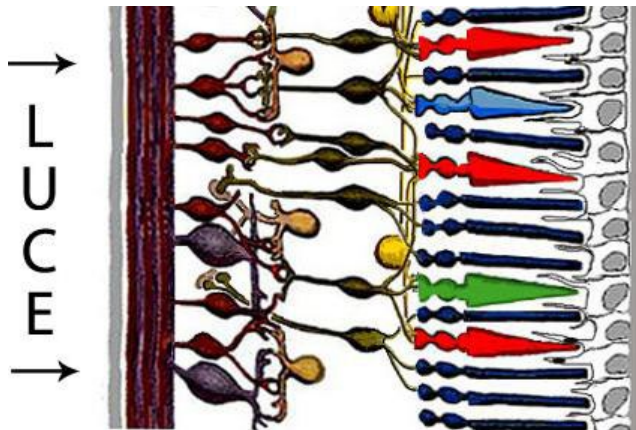
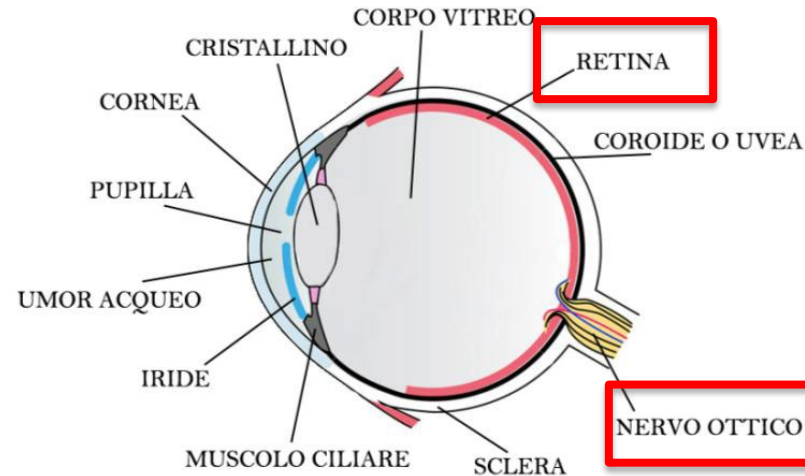


Photons travel in a straight line



They hit an object. Some are absorbed, some bounce off in a new direction.

And then some reach an eye/camera and are measured.



I fotorecettori sono distinti in **bastoncelli** e **coni**.



Soltanto i coni garantiscono la **discriminazione dei diversi colori**.



L'oggetto colorato

Source emits photons



Photons travel in a straight line

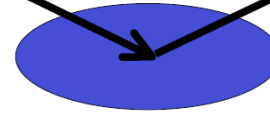
And then some reach an eye/camera and are measured.



They hit an object. Some are absorbed, some bounce off in a new direction.

RADIANCE

Incoming light



surface

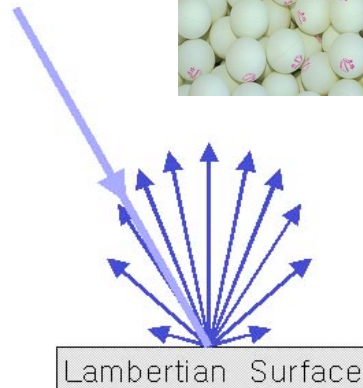
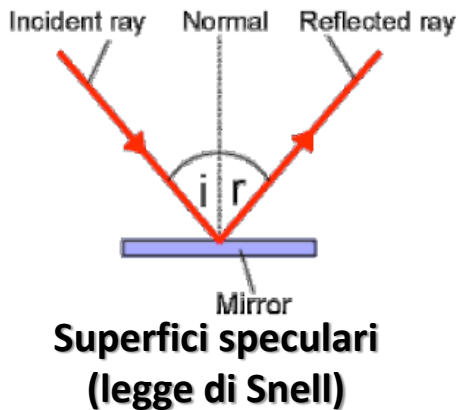
RADIANCE

Outgoing light

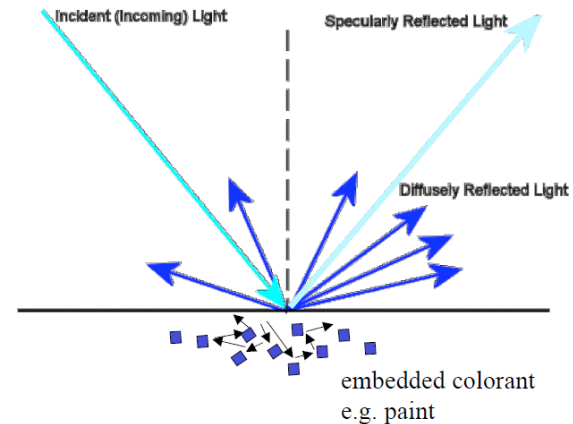
$$I = A + T + R$$

$$T = 0$$

oggetto opaco



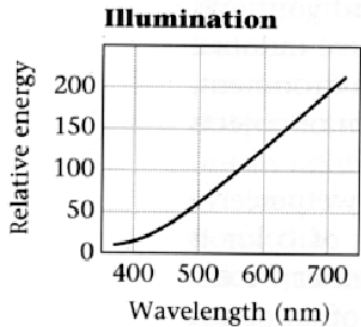
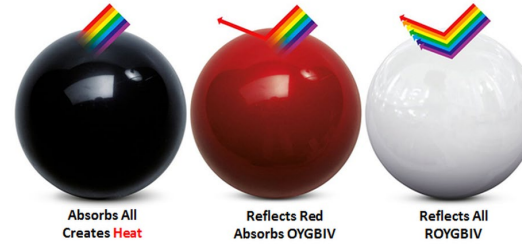
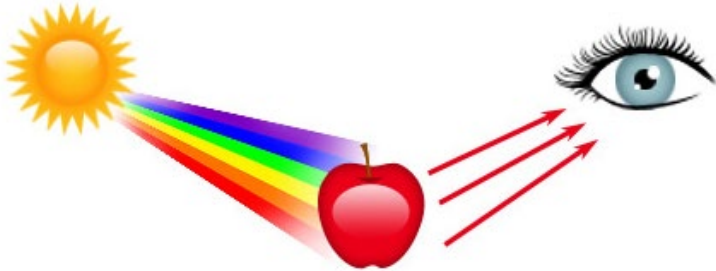
Superfici lambertiane (puramente opache)



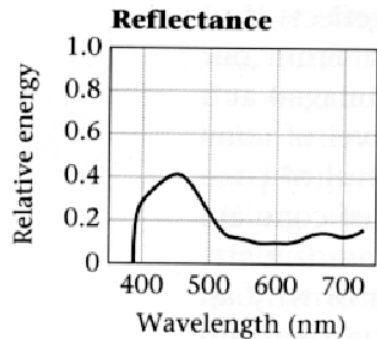
Superfici lambertiane (puramente opache)



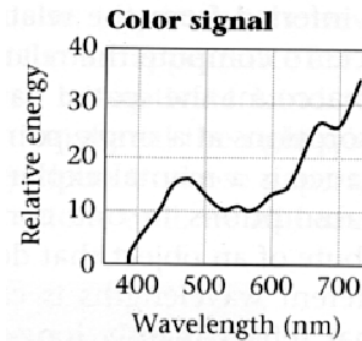
I colori del mondo



Spectral Irradiance



Spectral Albedo

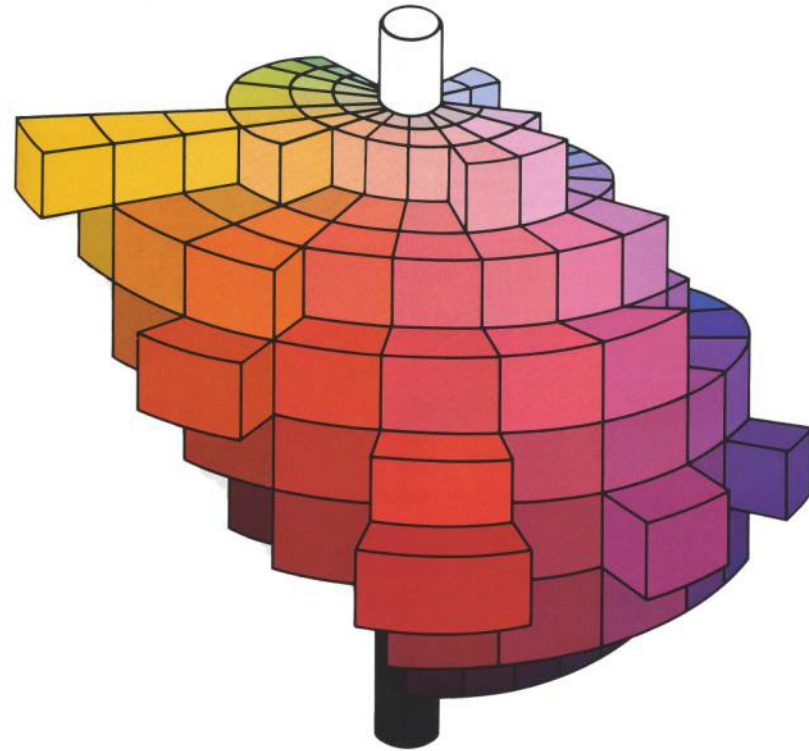
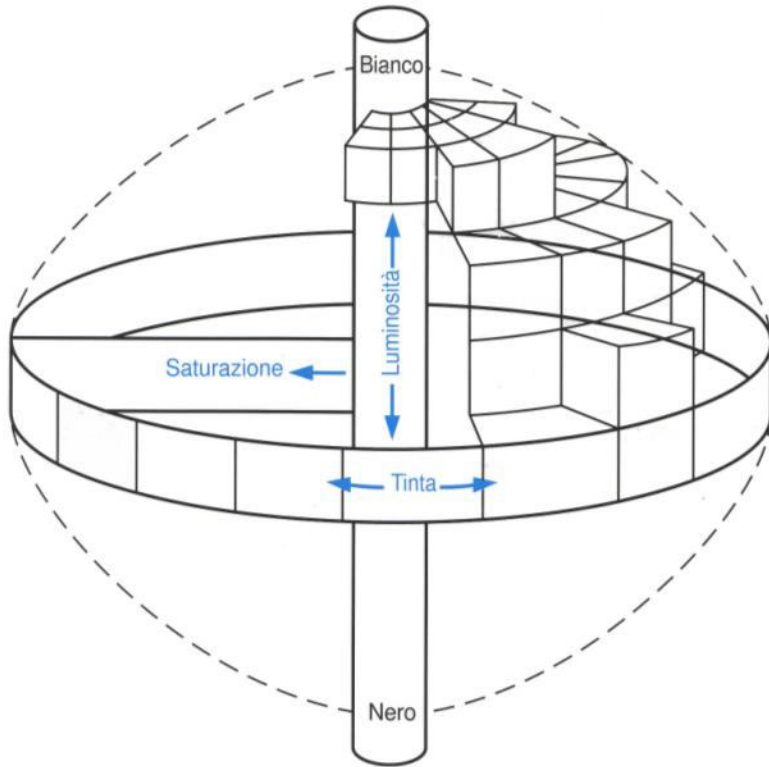


Spectral Radiance

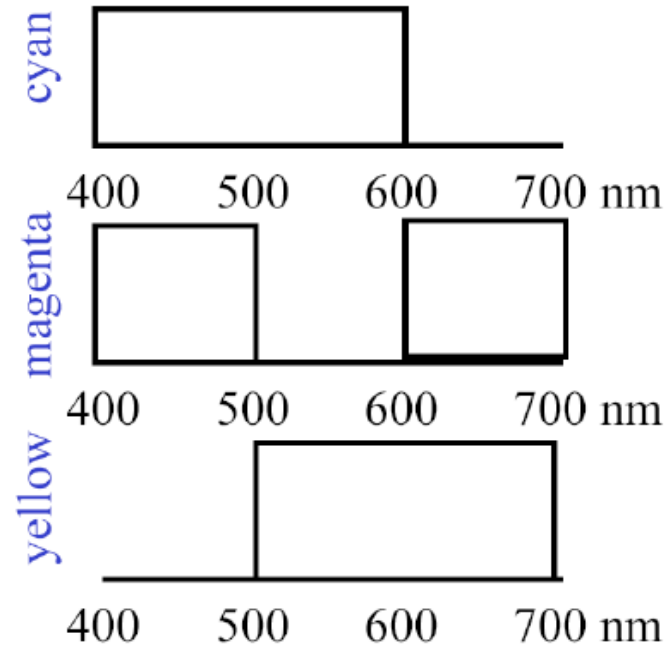
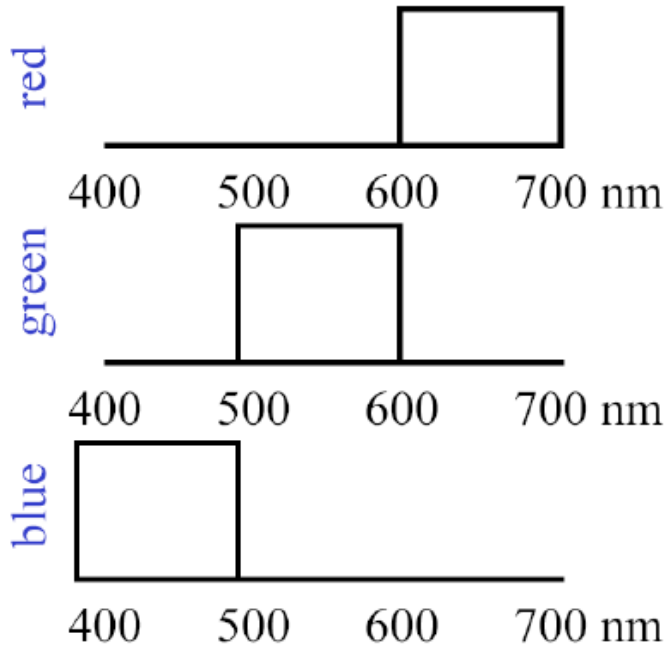
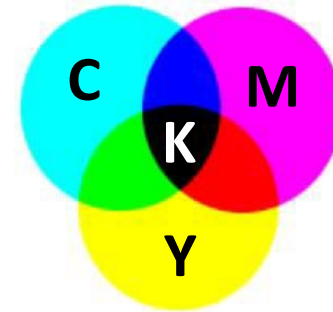
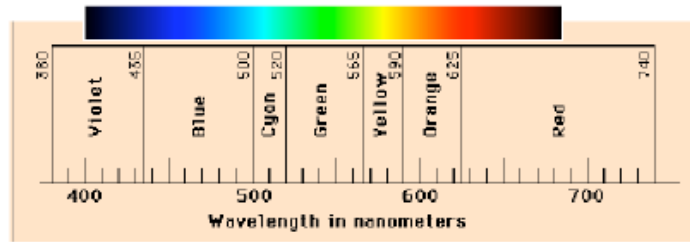
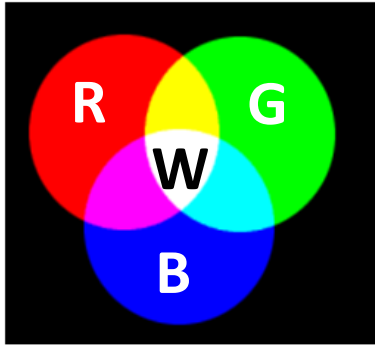
Il colore dipende dalle proprietà ottiche del materiale e può essere «misurato» considerando la Riflettanza Spettrale.

Il mondo del colore

- **Tinta** = determinata dalla λ dominante della sorgente
- **Saturazione** = rapporto tra flusso I dominante e flusso totale (flusso monocromatico=100%, flusso acromatico grigio=0%)
- **Luminosità** = dipende condizioni di illuminazione



Gli spazi RGM e CMY



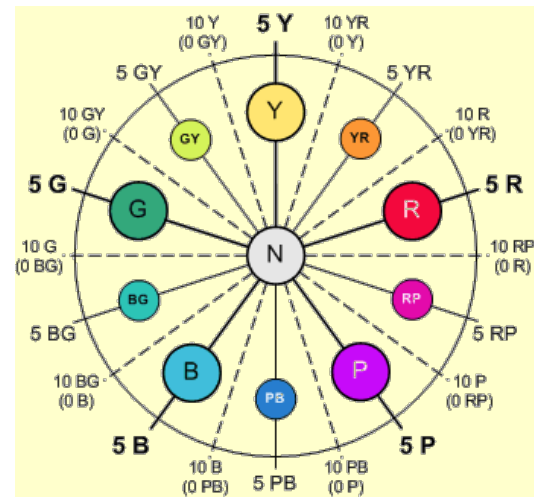
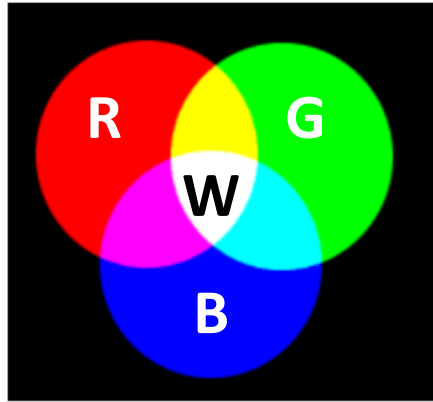
Spazi colore

RGB = (R,G,B)

% Red, % Green, % Blu

Interi positivi da 0 a 255

sintesi additiva



monitor e scanner

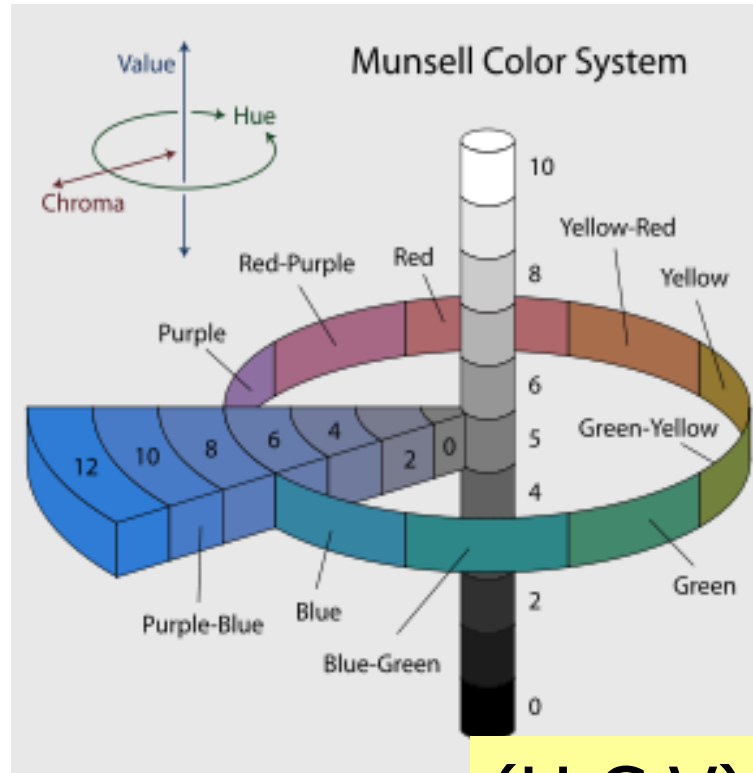
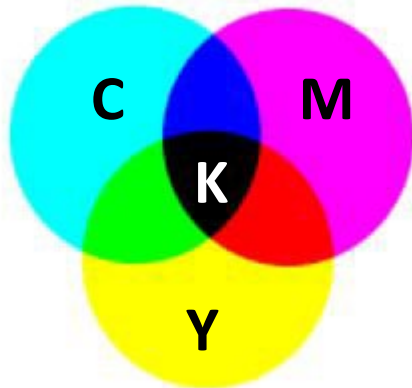
CMY/CMYK

% Cyan, % Magenta, % Yellow, % black

Terna di valori interi da 0 a 100

sintesi sottrattiva

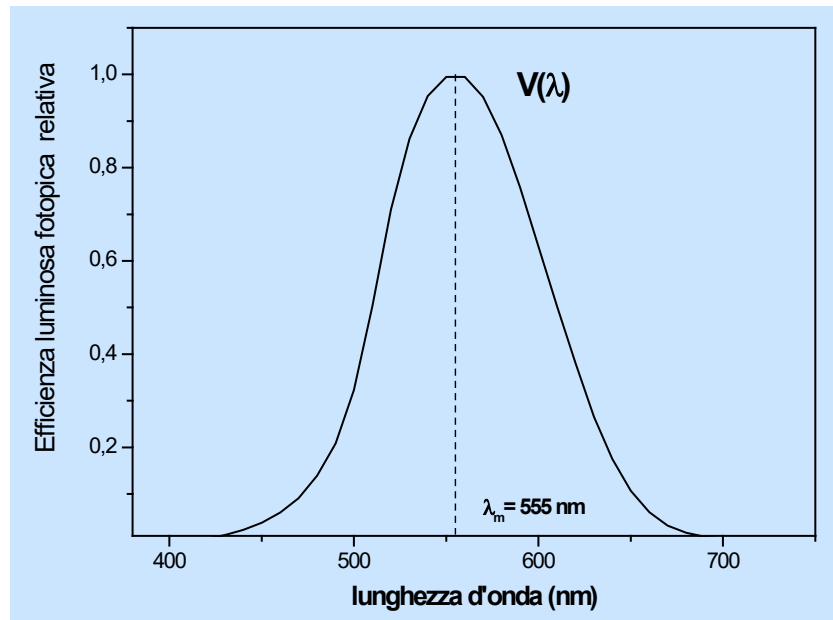
stampanti



(H,C,V)

Fotometria e colore

Nella scienza del colore necessario quantificare emissione luminosa in termini risposta spettrale del sistema visivo umano



sensibilità del sistema visivo

$$V(\lambda)$$

grandezze spettrali riferite

$$380 < \lambda < 780 \text{ nm}$$

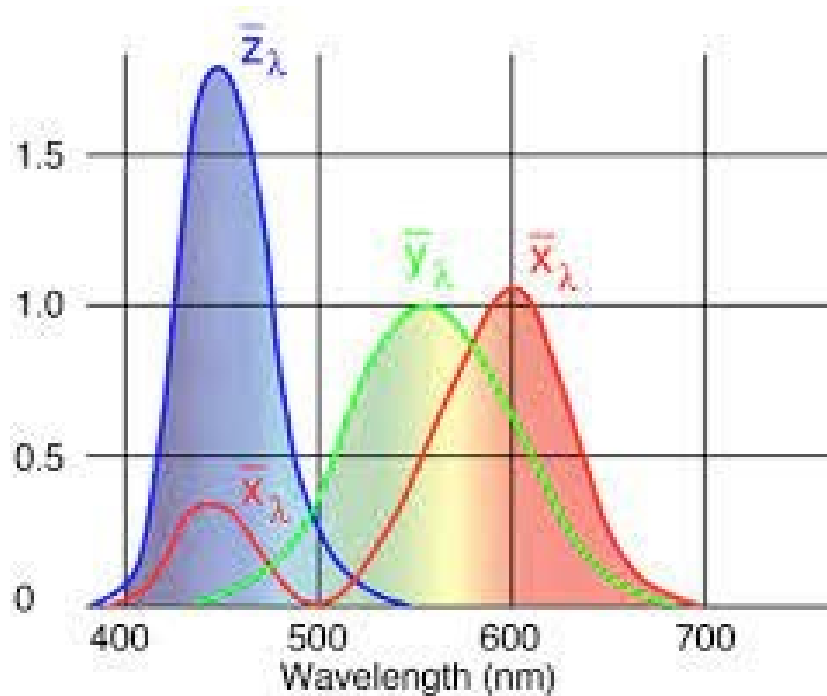
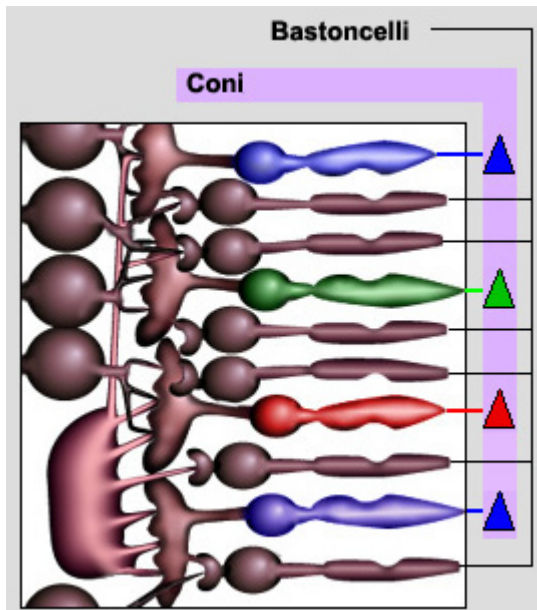
rivelatori costruiti “mimando” risposta spettrale occhio

ILLUMINOMETRO = misura dell'emissione in tutto lo spettro

RADIOMETRO = misura dell'emissione a tutte le lunghezze d'onda

Fotometria e colore

Per la misura del colore si utilizzano strumenti con calcoli appropriati per pesare i dati con la risposta dell'occhio basata sul funzionamento dei fotorecettori



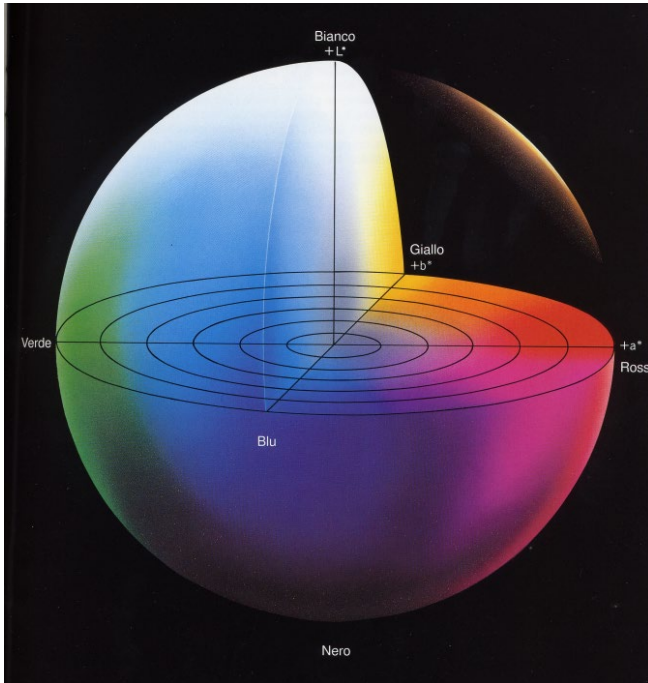
$$X = \int_{380}^{780} L_{e,\lambda} \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = \int_{380}^{780} L_{e,\lambda} \bar{y}(\lambda) d\lambda = \int_{380}^{780} L_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \int_{380}^{780} L_{e,\lambda} \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

spazio colorimetrico CIE 1931

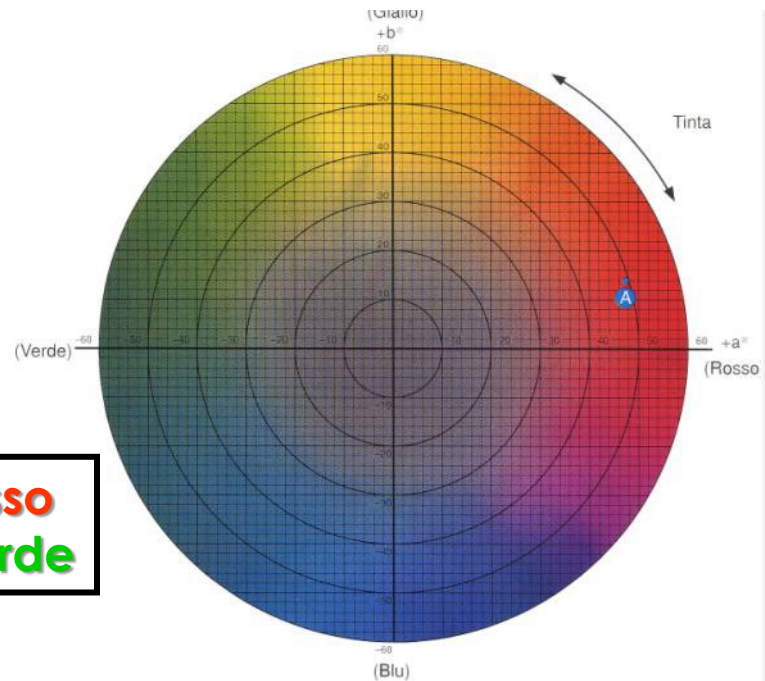
Spazio CIELAB L*a*b* (1976)



L* = luminosità

a* e b* = coordinate di cromaticità

+ b* giallo
- b* blu



+ a* rosso
- a* verde



$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

$$\Delta E_{ab}^* > 1 \quad !!!$$

Specificazione del colore

La specificazione strumentale del colore di un oggetto non autoluminoso necessita della scelta:

1. Illuminante
2. Geometria illuminazione
3. Geometria di visione
4. Osservatore standard



STANDARD CIE

Misura del fattore di riflessione spettrale $R(\lambda)$

rapporto tra flussi luce monocromatica riflessa in un punto del campione di colore e in un punto del perfetto diffusore ideale riflettente illuminati in modo uguale e secondo la stessa geometria

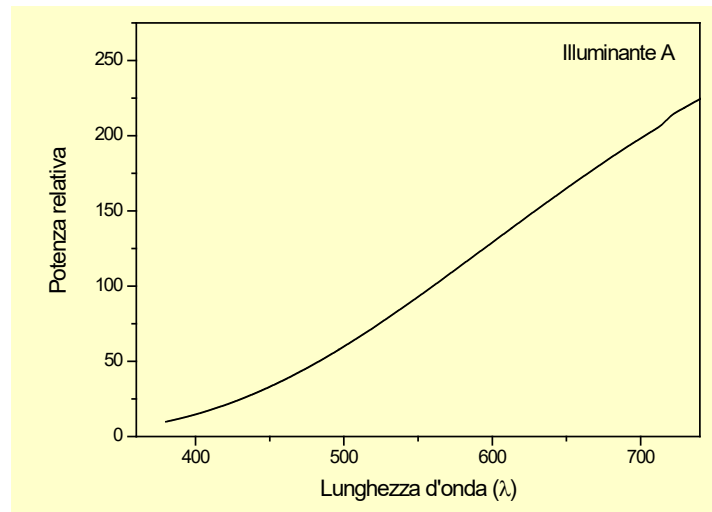
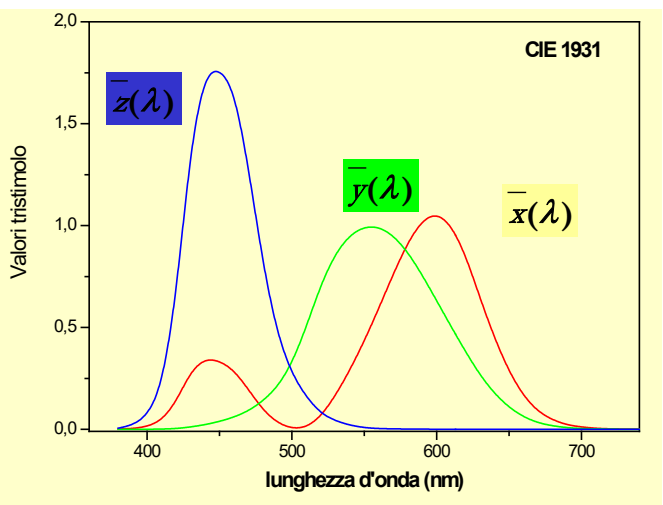
La sorgente di luce è caratterizzata dalla distribuzione spettrale di potenza relativa $S(\lambda)$ riferita ad una sorgente standard



Specificazione del colore

S
C
E
L
T
A

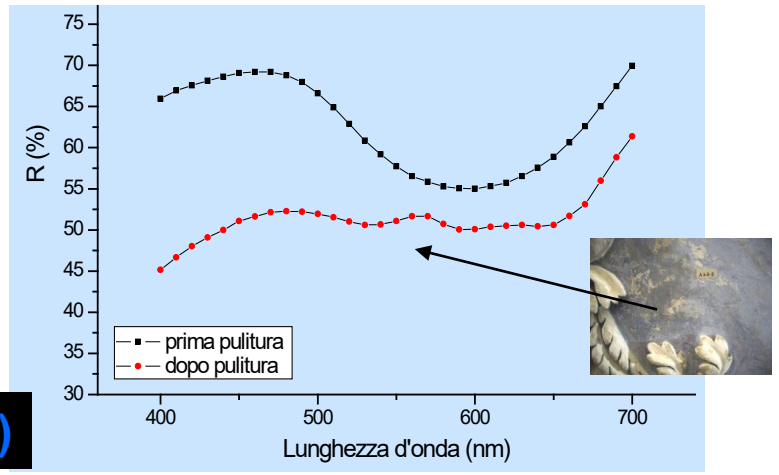
M
I
S
U
R
A



Osservatore CIE 1931

Illuminante con distribuzione potenza S_λ

geometria	irradiazione	osservazione	riflessione
d/8 SPIN	diffusa	8°	inclusa
d/8 SPEX	diffusa	8°	esclusa
45/0	45°	0°	esclusa
0/45	0°	45°	esclusa



$R(\lambda)$ alla geometria scelta (+ T e u !)

Specificazione del colore

Il colore risulta specificato da:

$$X = K \int_{380}^{780} S_{\lambda} R(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \quad Y = K \int_{380}^{780} S_{\lambda} R(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \quad Z = K \int_{380}^{780} S_{\lambda} R(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

la costante $K = \frac{100}{\int_{380}^{780} S_{\lambda} \bar{y}(\lambda) d\lambda} \longrightarrow Y = 100 \quad X, Y, Z \text{ adimens}$

rende specificazione colore relativa e indipendente dal livello illuminazione

Fattore luminanza percentuale $Y = 100$ per diffusore riflettente ideale

colore misurato = proprietà oggetto

Variabile della luminosità L^*

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

Coordinate di cromaticità a^* e b^* :

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

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

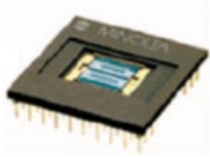
$$\frac{Y}{Y_n} > 0.008856$$

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

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

Metodo spettrofotometrico

1. Sensore spettrale



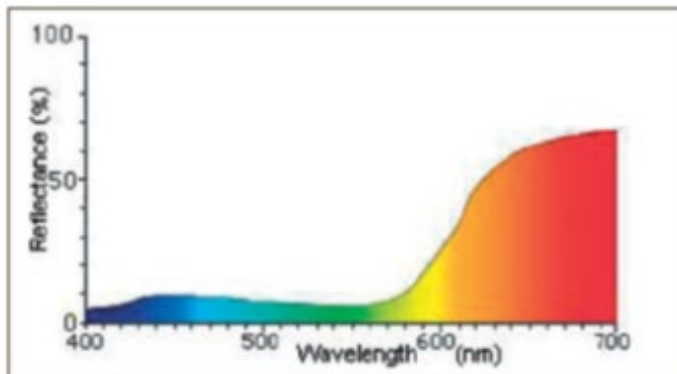
Sensore multiplo che riceve la luce dall'oggetto e trasmette l'informazione



2. Microcomputer



Determina la riflettanza spettrale in base all'informazioni fornite dal sensore spettrale



Spettrofotometro

Oggetto



Dati numerici
(L^* , a^* , b^*)

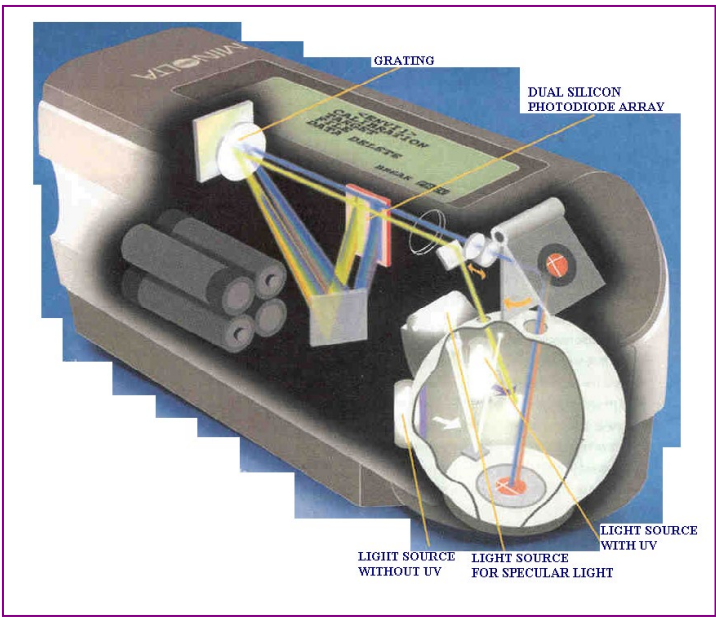
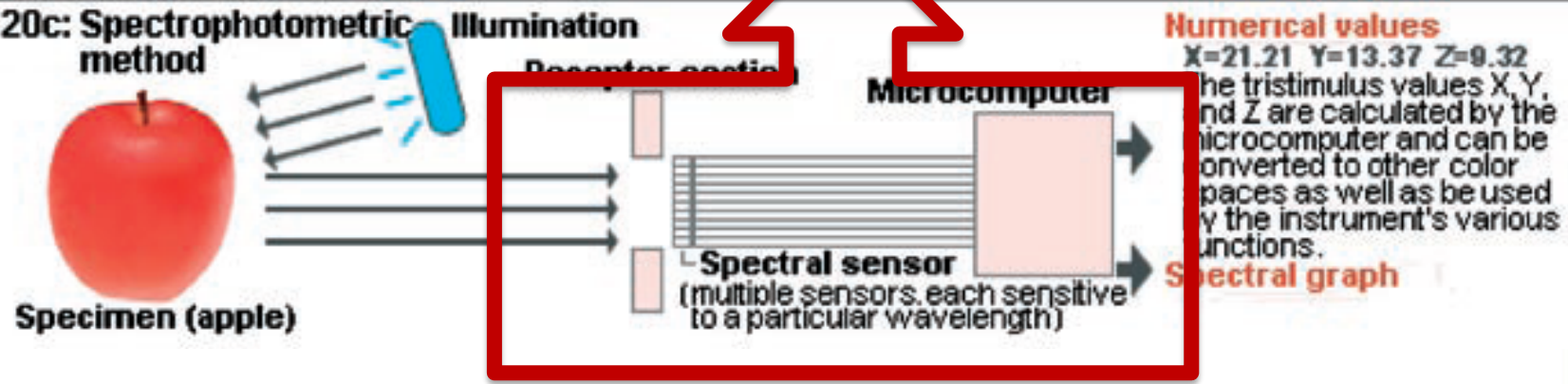
Grafico spettrale

Uno spettrofotometro misura la luce riflessa da un oggetto ad ogni lunghezza d'onda: ciò può essere mostrato come grafico e fornisce informazioni più dettagliate sulla natura del colore.

La «misura» del colore



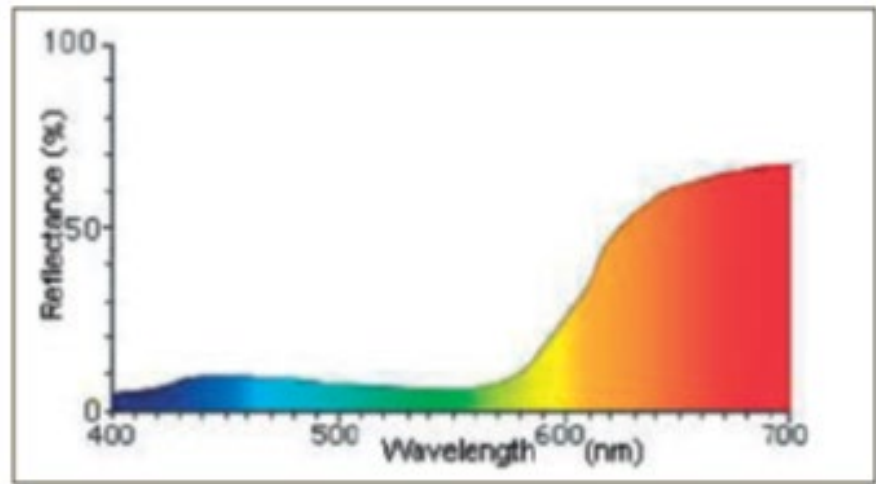
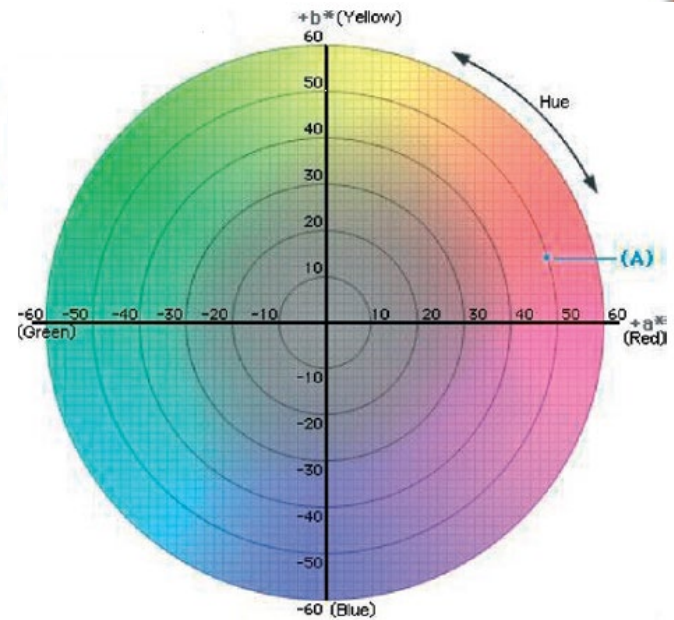
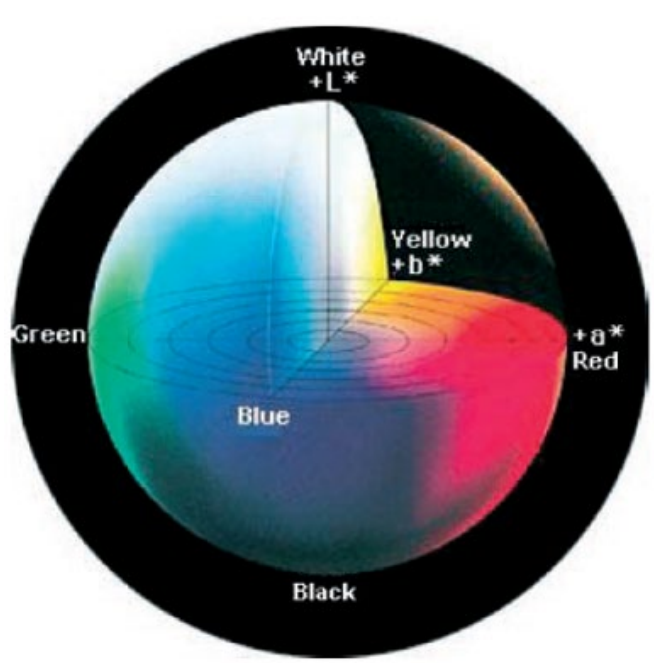
© Can Stock Photo



- Una **luce** allo Xenon illumina il campione
- La luce riflessa dalla superficie del **campione** viene raccolta da un **sistema di lenti** ed entra nel sensore spettrale principale
- La luce che entra in ciascun **sensore** viene divisa in lunghezze d'onda da un reticolo di diffrazione e convertita in segnale elettrico da una array di fotodiodi



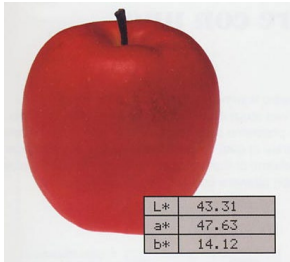
La «misura» del colore



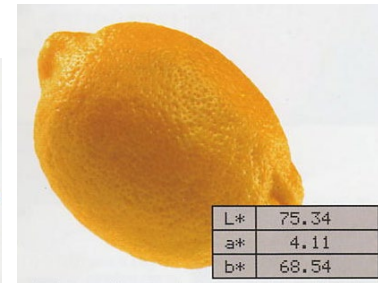
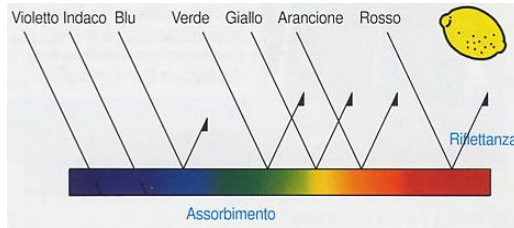
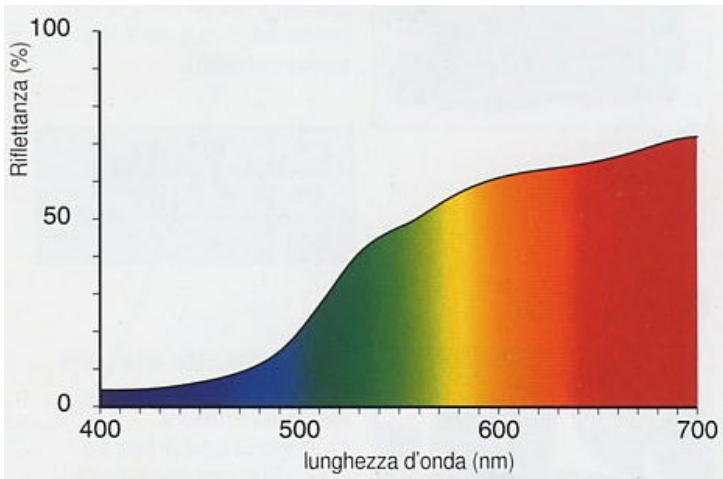
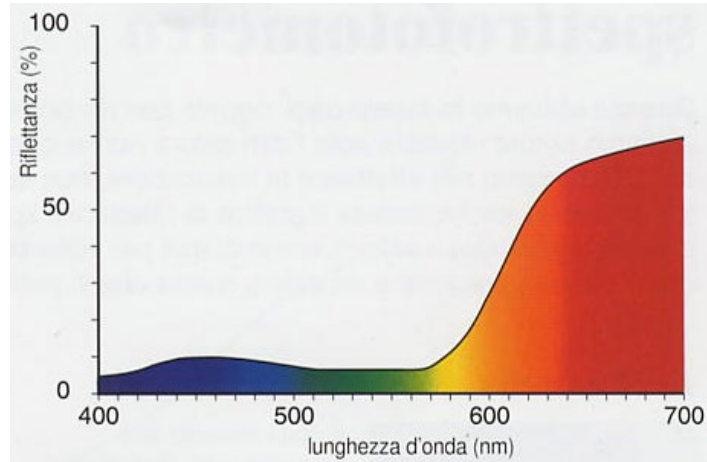
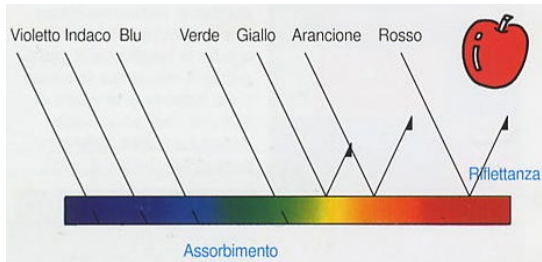
001	L 43.31
a+47.63	b+14.12



La «misura» del colore



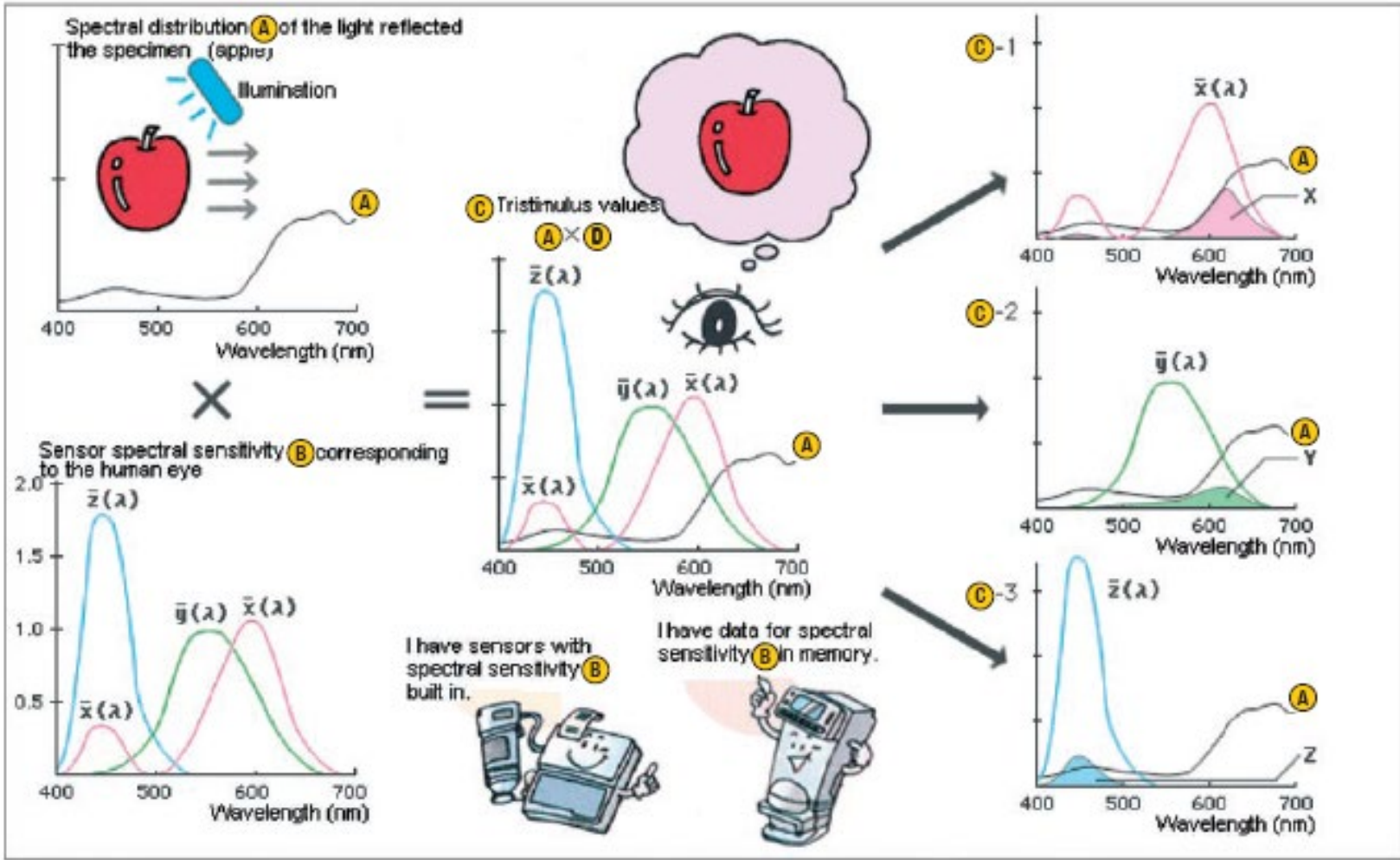
L*	43.31
a*	47.63
b*	14.12



L*	75.34
a*	4.11
b*	68.54



La «misura» del colore



Specificazione del colore

Differenze di sorgenti luminose

luce solare, lampade ad incandescenza, neon,...

Differenze di osservatore

sensibilità, vista,...

Differenze di dimensioni

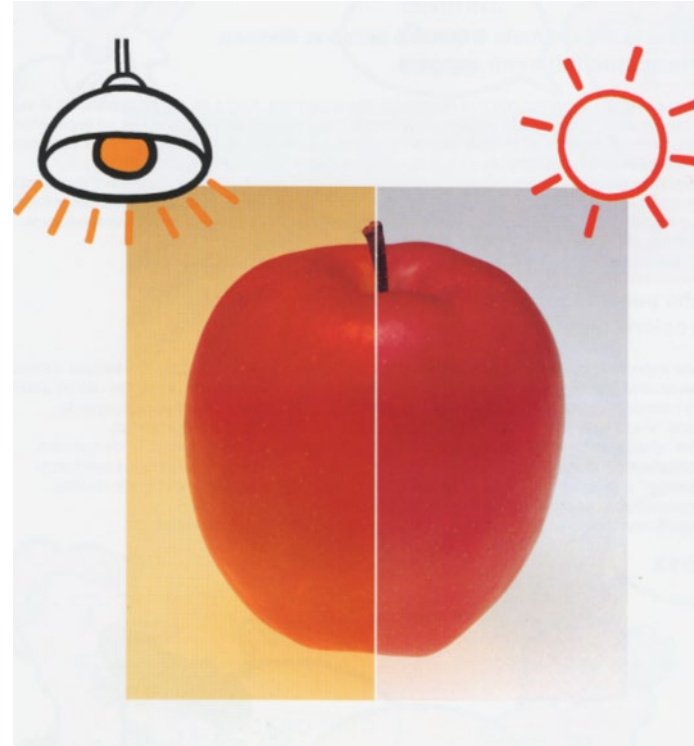
Effetto area = colori che ricoprono vaste superfici appaiono più luminosi e vivaci

Differenze di sfondo

Effetto contrasto = colori appaiono più cupi se lo è sfondo scuro

Differenze di direzione

Caratteristiche direzionali di alcune vernici
costanza degli angoli di osservazione e di illuminazione

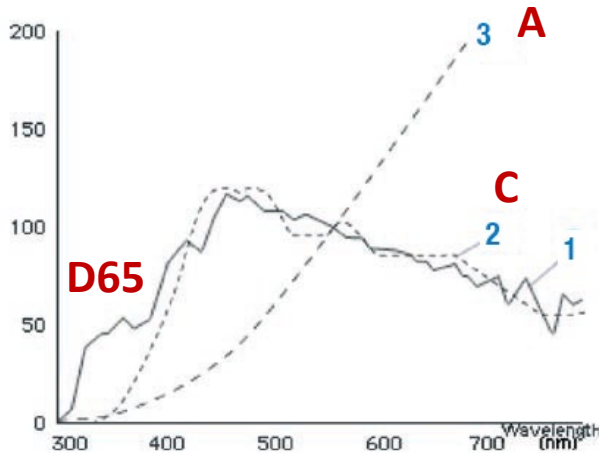


assegnare una terna di numeri

Specificazione del colore

Differenze di sorgenti luminose

Selezione dell'illuminante (D65, A, F11,...)



Differenze di osservatore

Osservatore 2°, Osservatore 10°

2° viewing angle



10° viewing angle



Differenze di direzione

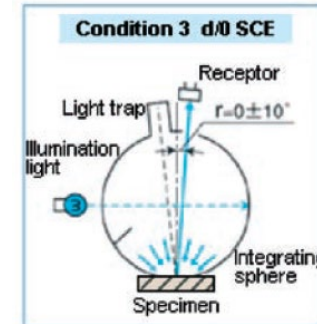
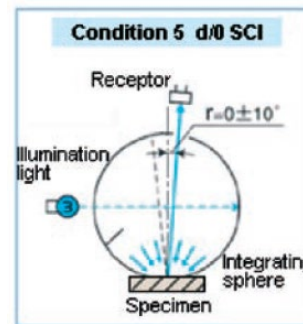
Geometria di misura nota (d/8°, 45°/45°, ...)

Differenze di dimensioni

Selezione dell'area di misura (SAV/MAV)

Differenze di sfondo

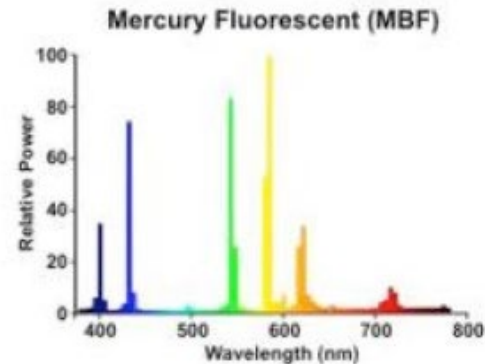
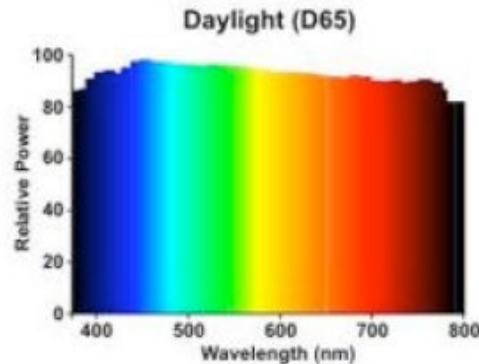
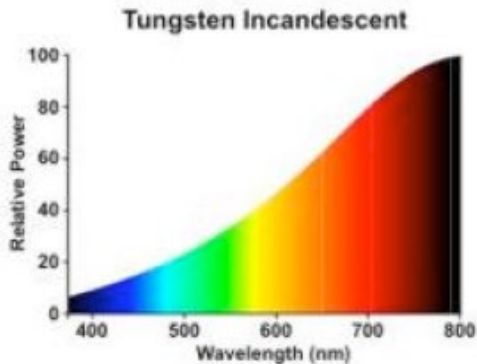
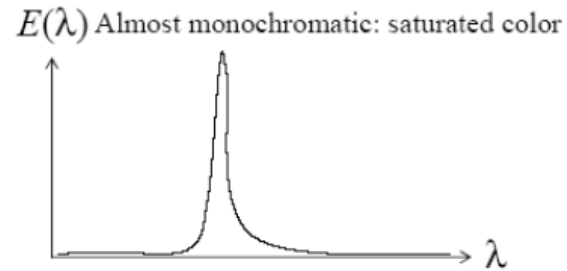
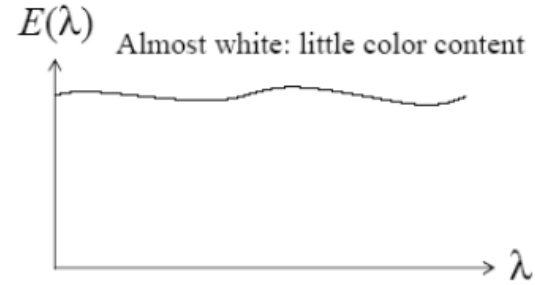
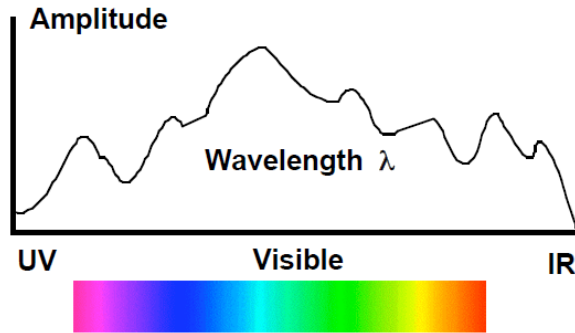
Area di misura coincidente con l'area da misurare



Sorgenti ed illuminanti

Spectral Power Distribution:

Relative amount of light energy at each wavelength



Expertise di PH3DRA

Diagnostica per la conservazione e il restauro

COSA?

CHI?

QUANDO?

COME?

COLORIMETRIA

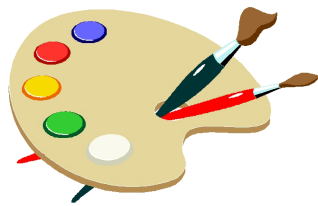
**COLORI DEI PIGMENTI E
DIPINTI**

CONSERVAZIONE E
RESTAURO DI OPERE
POLICROME

SPETTROMETRIA RAMAN

**TAVOLOZZA PITTORICA
MODIFICHE MATERIALI**

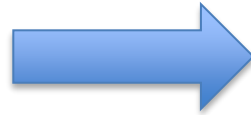
IDENTIFICAZIONE DELLA
TAVOLOZZA DELL'ARTISTA E
CAUSE DI DEGRADO



Dipinto = Multistrato

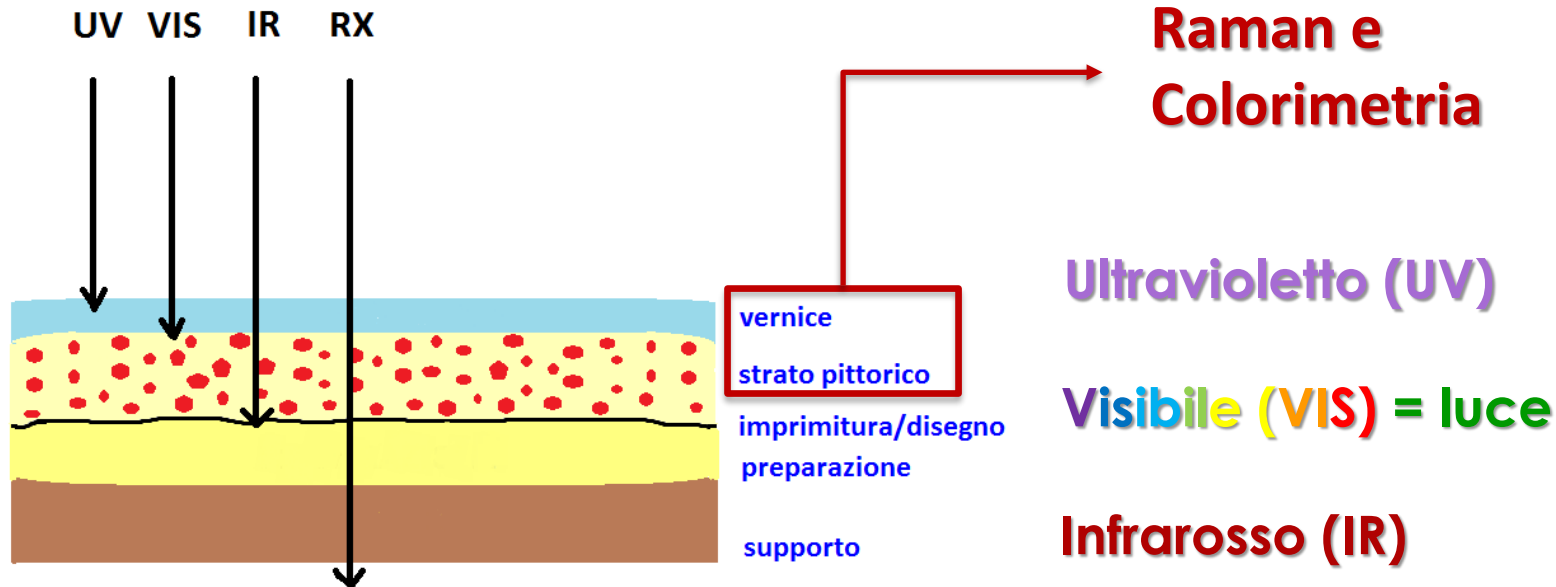
La radiazione e.m. può essere utilizzata come metodo d'indagine **NON DISTRUTTIVO** e **NON INVASIVO** delle opere anche **IN SITU**

al variare della lunghezza
d'onda



informazioni
diverse

Il dipinto è un sistema «multistrato»: ogni strato ha caratteristiche chimiche e fisiche differenti.



Luce e colore

quanta luce?



Illuminometro

Radiometro



che luce?



che colore?



Spettrocolorimetro



La tavolozza dell'artista



?

colore → pigmento

CINABRO

VERDE RAME e/o MALACHITE

BIACCA

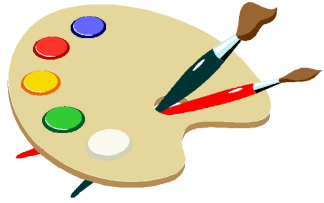
OSSIDI DI FERRO

TERRA D'OMBRA



Caravaggio, Seppellimento di Santa Lucia
Chiesa di Santa Lucia alla Badia, Siracusa

La tavolozza e il colore dei pigmenti

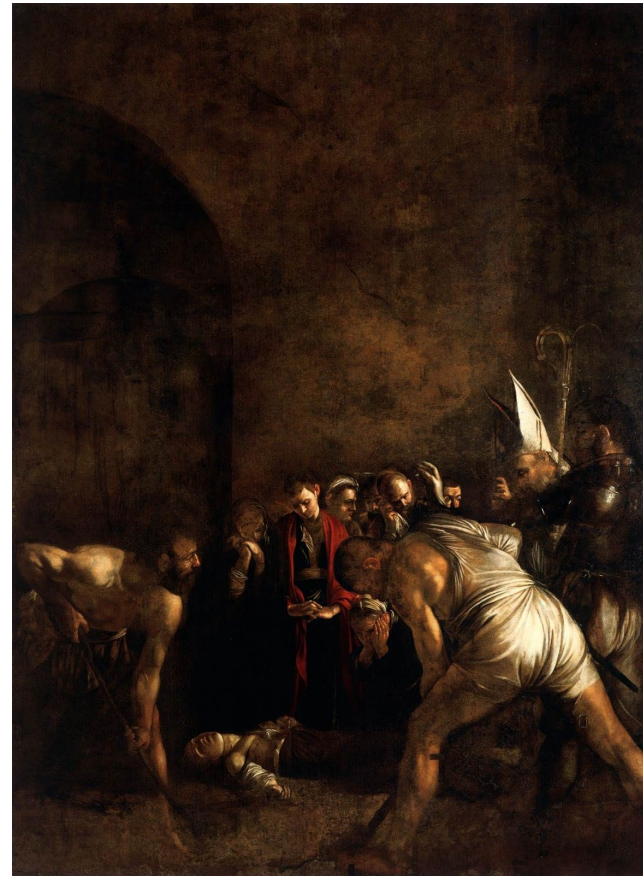


Colorimetria

Radiometria

Illuminometria

Spettrometria Raman



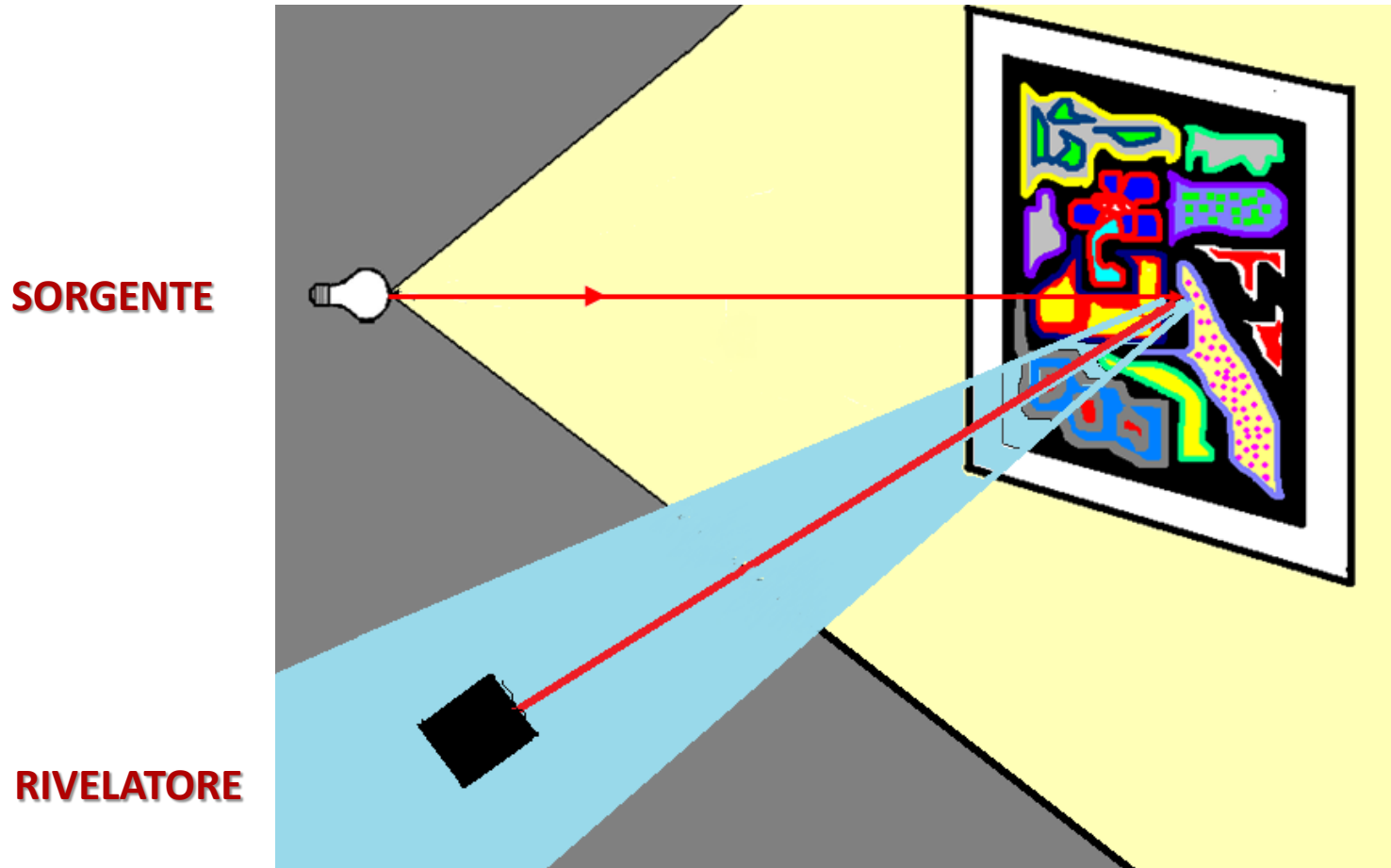
NON DISTRUTTIVE NON INVASIVE IN SITU

... PARTE di un programma diagnostico !!!

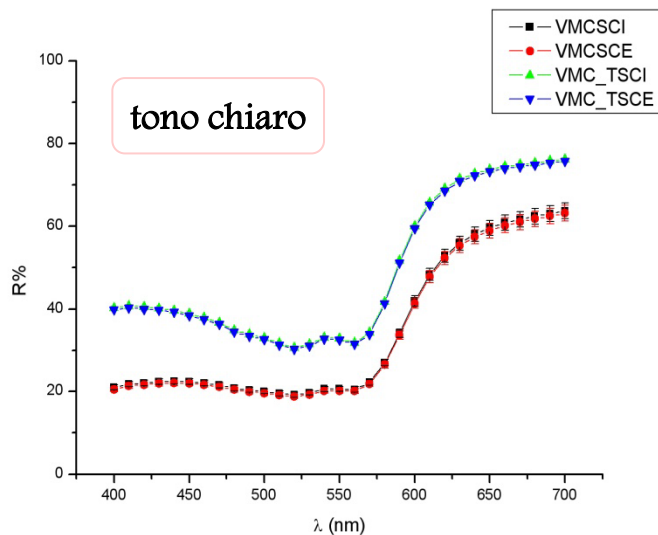
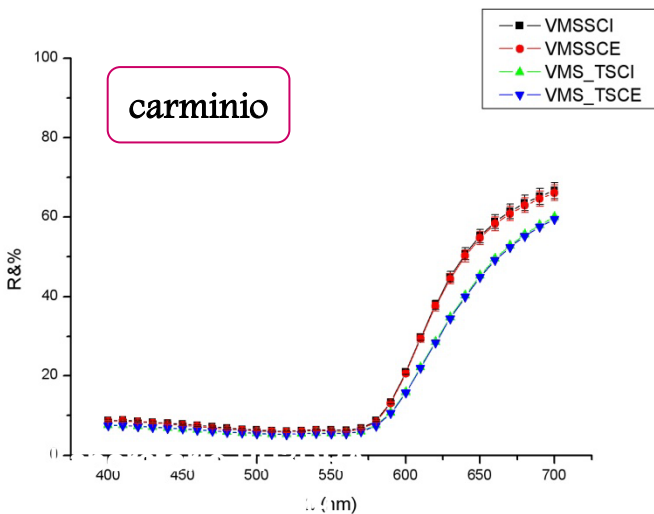
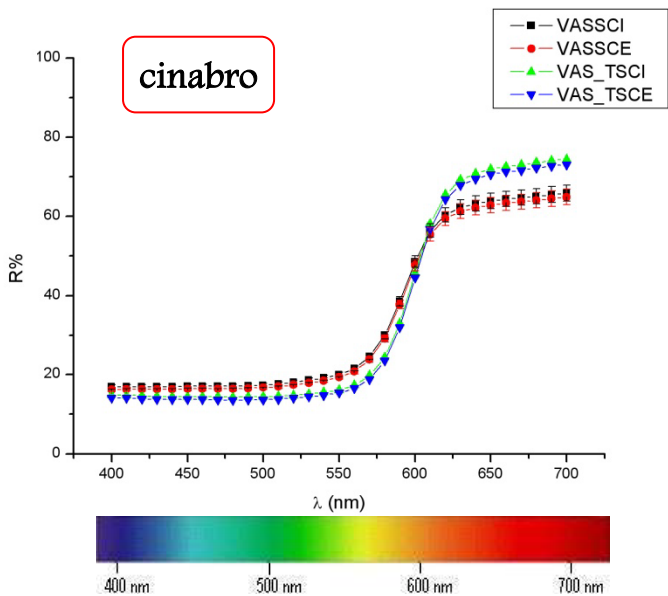


La diagnostica di un dipinto

Le informazioni dipendono dal **segnale** registrato dal rivelatore = risultato dell'**interazione** tra la **radiazione** (=sonda) generata dalla sorgente e il dipinto



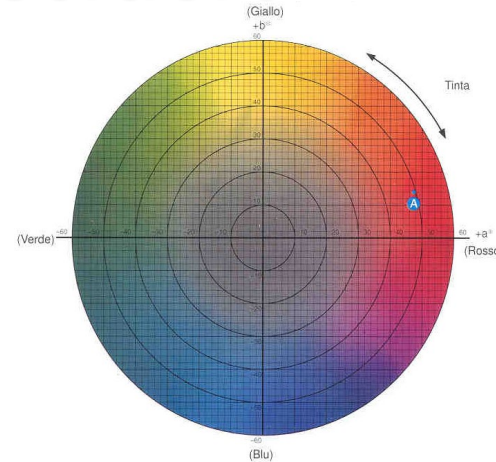
Il colore di alcuni pigmenti rossi...



Colorimetria e Restauro

Quantificazione delle differenze di colore in interventi di restauro

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$



PULITURA

REINTEGRAZIONI PITTORICHE



Tempo = 0

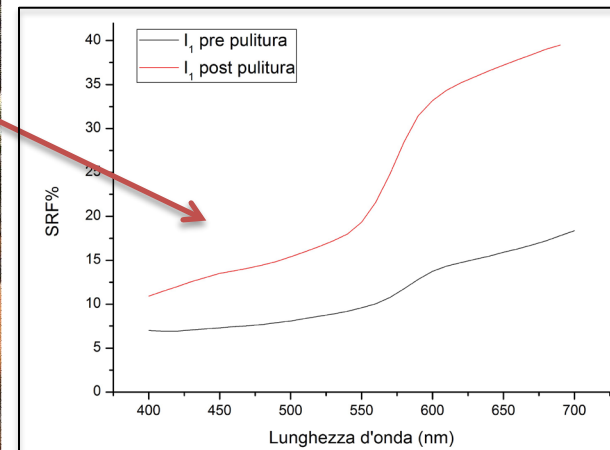
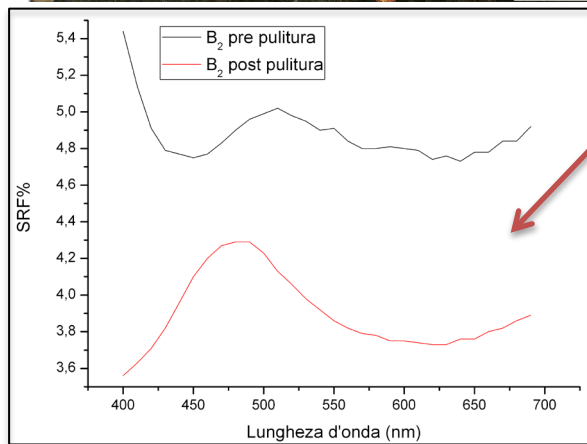
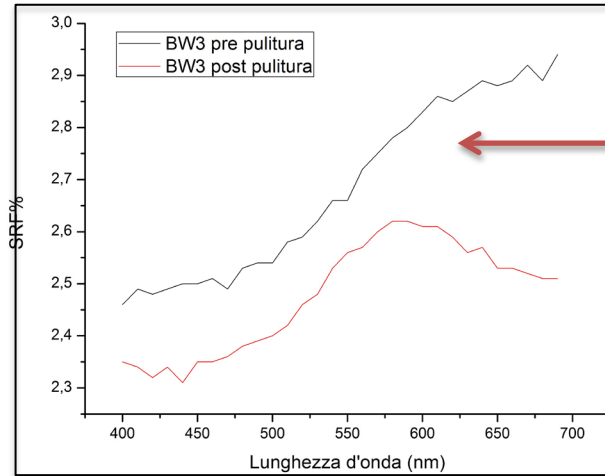
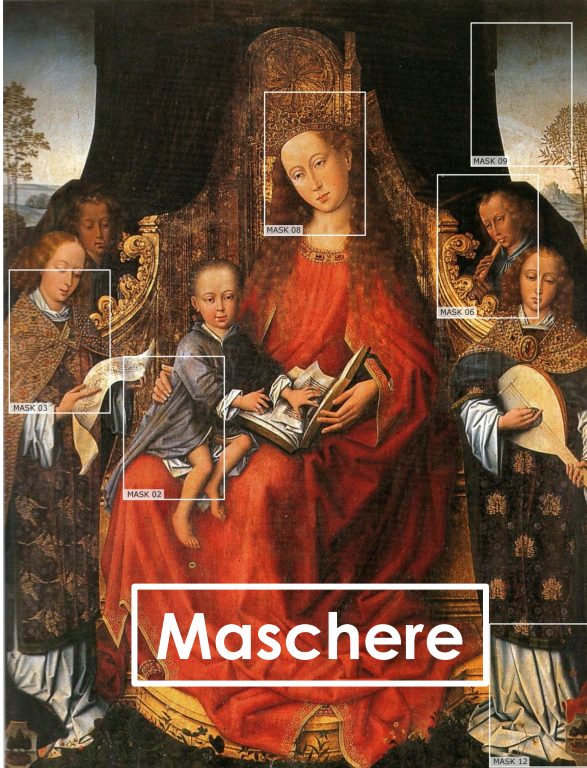
Tempi = 1,2,3...

Quale colore/pigmento?

Colorimetria e restauro

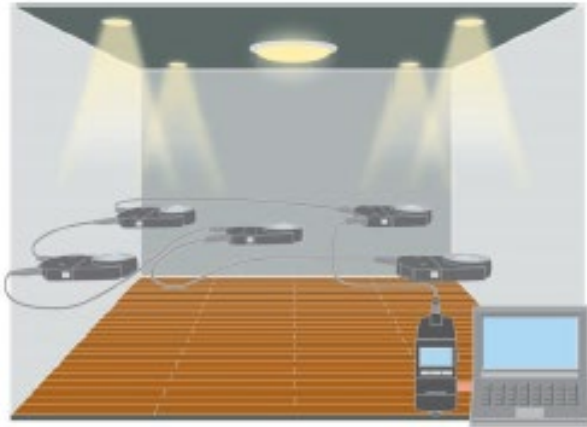
Trittico del maestro dei fogliami ricamati

Chiesa Madre di Polizzi Generosa (PA)



La colorimetria per la conservazione e la fruizione

Livello di illuminamento lux (lx)



- misure puntuali
- distribuzione intensità luminosa

Caratteristiche sorgente



Misure di:

- distribuzione spettrale
- luminanza (cd/m^2)
- cromaticità
- T° colore

fruizione

**visione opera migliori
condizioni possibili**

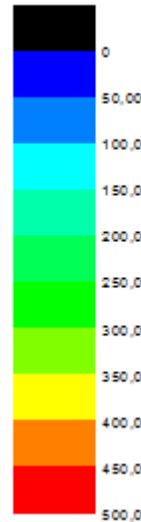
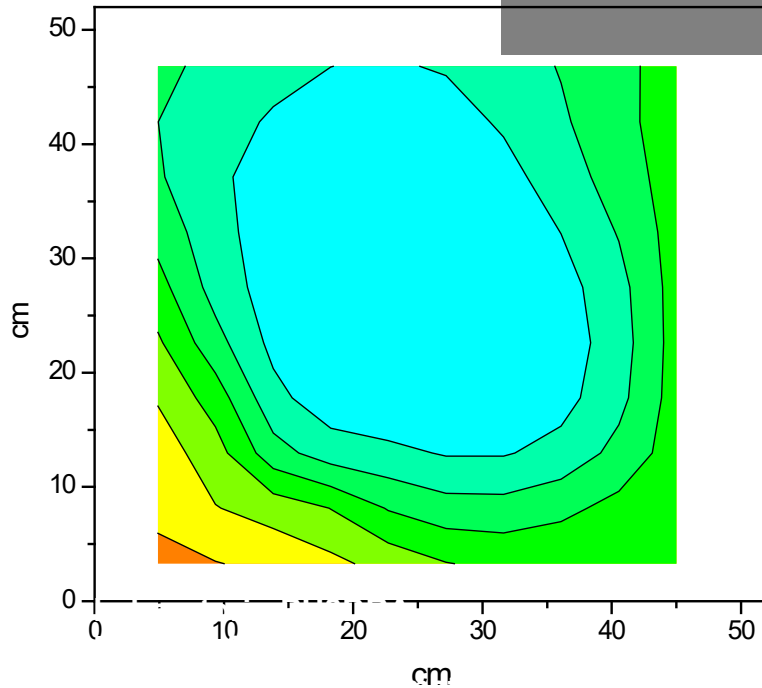
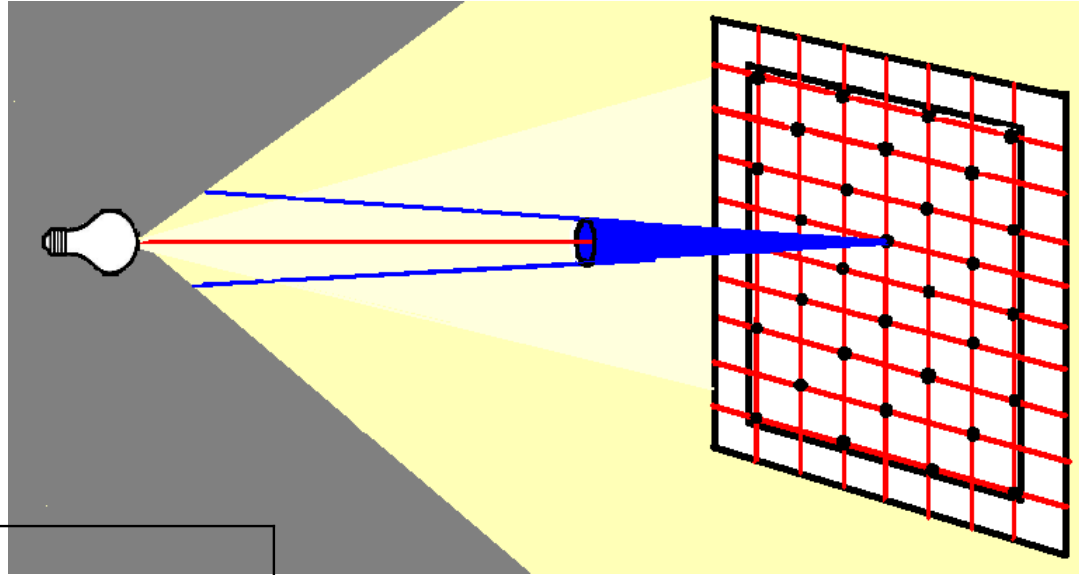
**DISTRIBUZIONE
 E_v**

conservazione

**contenimento processi
di degrado**

**NORMA UNI
10829 (1999)**

Misure di illuminamento



Misure di illuminamento

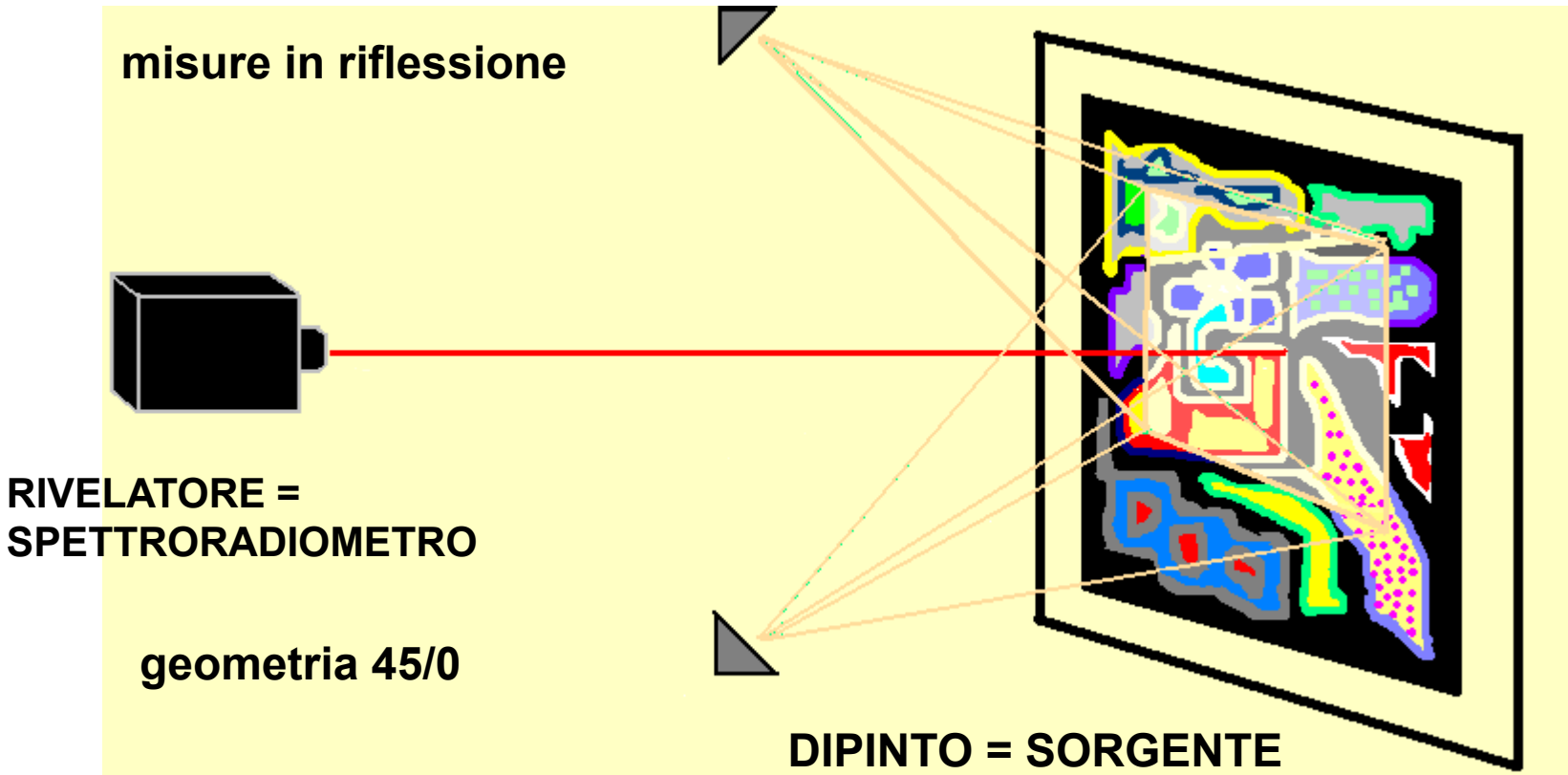
1. **Materiali insensibili alla luce (300-500 lux)**
Pietra, metallo, vetro e ceramica invetriata
2. **Materiali sensibili alla luce (150-200 lux)**
Dipinti su tavola, tela, ad olio, avorio, legno, cuoio
3. **Materiali estremamente sensibili (max 50-70 lux)**
Carta, acquerelli, tessuti, piume, reperti animali,...

! no emissioni IR ed UV cause di degrado

Norma UNI «Misurazione ed analisi delle condizioni ambientali di conservazione dei Beni di interesse storico e artistico»

- **Massimo valore di illuminamento E_{\max} [lx]**
- **Massima dose annuale di luce LO_{\max} [Mlx·h/anno]**
quantità di luce che l'opera riceve nell'arco di un anno
- **Massima quantità di radiazione ultravioletta UV_{\max} [$\mu\text{W}/\text{lm}$]**
componente ultravioletta ($315 < \lambda < 400 \text{ nm}$) presente nella radiazione luminosa rapportata alla componente visibile della stessa

Misure di colore e fruizione



Luce riflessa dipende dall'illuminazione e dall'ambiente...
SFONDO???

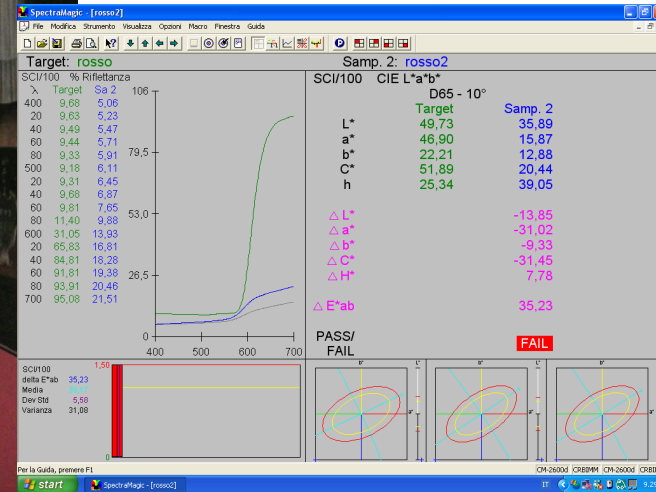
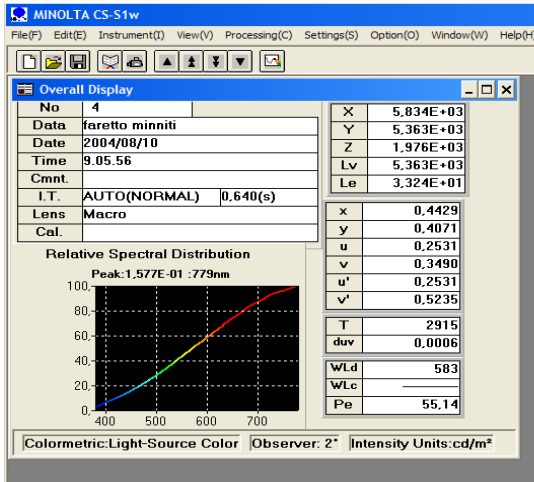
MUSEO, SALE ESPOSITIVE, VETRINE... / LABORATORIO



«Misure di colore»



Livelli di illuminamento



Spettro della sorgente

Variazioni cromatiche

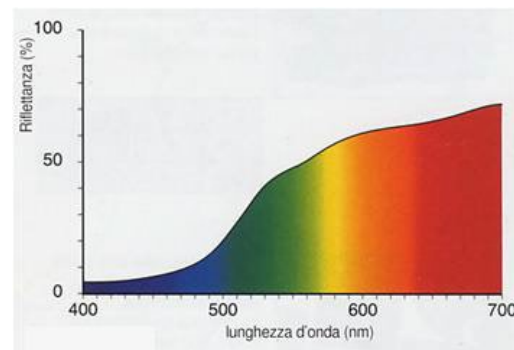
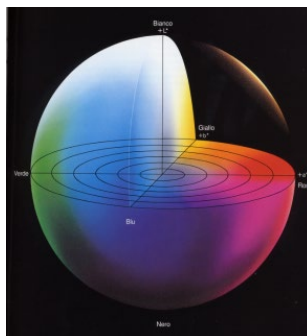
Il colore degli alimenti

Ambito applicativo:

- ✓ Tracciabilità dei prodotti alimentari
- ✓ Verifica durante le fasi di produzione

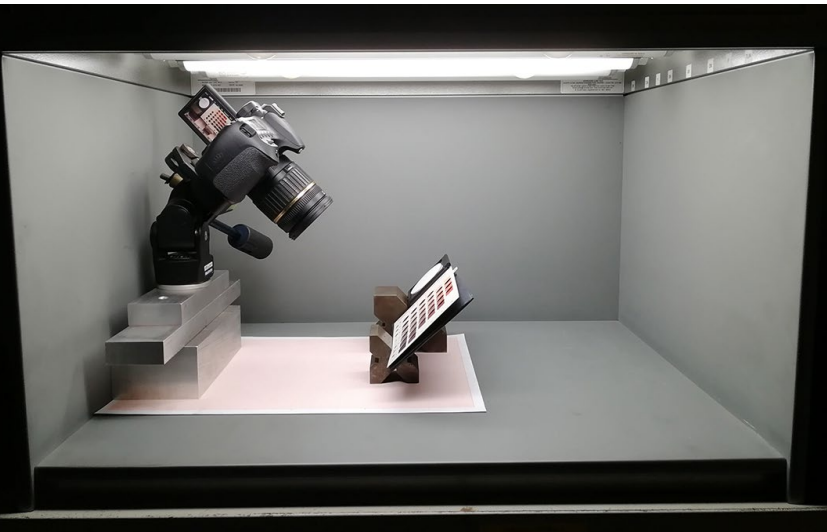
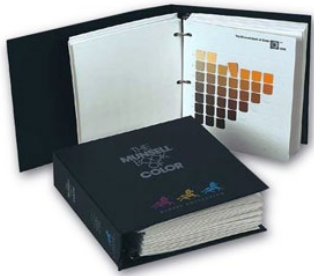
Ambito applicativo:

- ✓ Variazioni cromatiche al variare delle condizioni di conservazione
- ✓ Proprietà organolettiche e colore



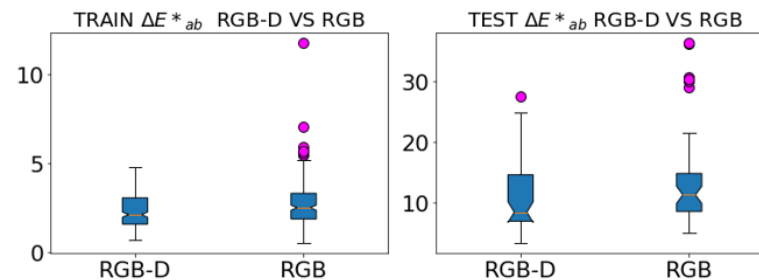
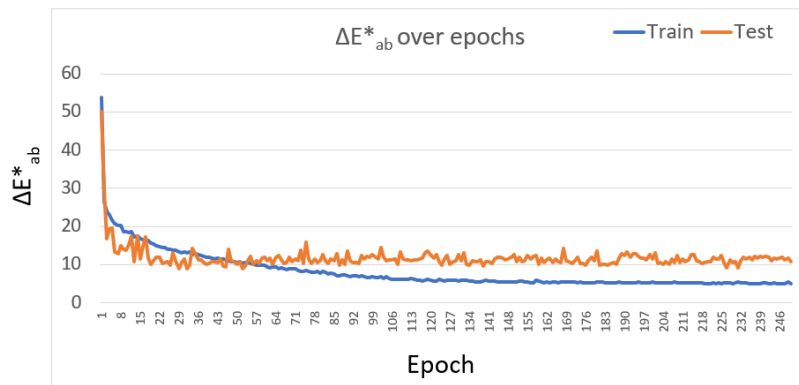
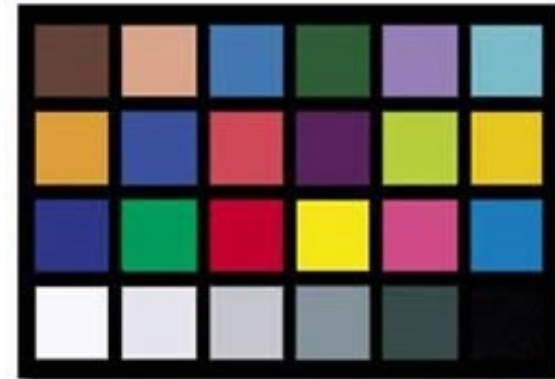
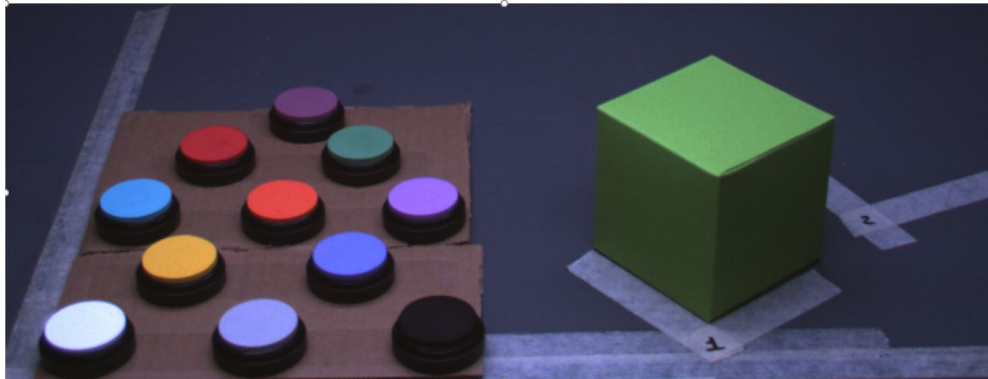
Il colore delle ceramiche

Progetto **ARCA** (Automatic Recognition Color for Archaeology) per l'elaborazione di un *framework* finalizzato a fornire agli archeologi uno strumento facile e veloce per l'assegnazione del colore alle terrecotte usando le coordinate Munsell.



Colore le immagini digitali

Progetto **CLEAR** (Color rEndering Accuracy in cultuRal heritage) ha come obiettivo la realizzazione di un laboratorio virtuale di diagnostica per manufatti policromi attraverso la definizione di un protocollo di acquisizione ed elaborazione delle immagini ad elevata risoluzione e accuratezza in termini di resa cromatica.



Il colore del vino



Campioni	Colore percepito alla luce solare	L*±d	a*±d	b*±d
Acino 1	Viola	23.58±0.48	2.20±0.06	-0.95±0.09
Acino 2	Viola scuro	26.18±1.83	-0.06±0.32	-2.70±0.97
Acino 3	Nero	25.06±1.17	0.68±0.50	-1.95±0.76
Vinaccia	Viola	36.23±2.97	-0.36±0.34	-5.68±1.65

XII CONFERENZA DEL COLORE - Torino 8-9 settembre 2016
 ADI Associazione Italiana di Colorimetria - CENTRE FRANÇAIS DE LA COULEUR - COLOUR GROUP GREAT BRITAIN - COLOURBROT (Société Color Centre)
 Foundation - Institut Français de Colorimétrie - COMITÉ DEL COLOR (Instituto Español de Color) - GRUPO FRANCÉS DE "MATERIES NUMÉRIQUES COULEUR"
 Politecnico di Torino - Faculty of Architecture - Dipartimento di Architettura e Design - Dipartimento Interdisciplinare di Scienze, Tecnologia e Innovazione del Territorio

INTRODUZIONE

La ricerca privata del progetto di ricerca è la caratterizzazione del colore del vino Etna DOC, titolo con garanzie riservate, alla produzione con il metodo classico. La fermentazione dei diversi tipi di uva e la loro gestione nel processo di vinificazione. Per questo il colore è stato misurato nel momento della vinificazione e della fermentazione durante la vinificazione e la produzione del vino, ma anche dopo una completa vinificazione del vino.

Per vedere le eventuali variazioni cromatiche durante la conservazione, i colori sono stati misurati in campioni di vino conservati in contenitori di vetro differenti, esposti a luce solare.

RISULTATI E DISCUSSIONE

L'andamento del fatto di riferimento è quello della curva di riferimento. Le misure di L* e a* sono per impostazione predefinita di 25.42 e 1.60, L* da 10 a 100 e a* da 0 a 100. Le misure di b* sono di 11.31 e 4.74.

Il processo di fermentazione induce una riduzione della luminosità e della componente rossa (a*) mentre quella di b* aumenta. La misura di L* e a* sono per impostazione predefinita di 25.42 e 1.60, L* da 10 a 100 e a* da 0 a 100. Le misure di b* sono di 11.31 e 4.74.

MATERIALI E METODI

CAMPIONI ANALIZZATI

1° STEP
 Acino e diversa maturazione.
 Vinaccia dopo una fermentazione di due giorni.

2° STEP
 Acino e vinaccia in contenitori di vetro differenti.

MISURE DI COLORE

Il colore è stato misurato con spettrofotometro CM 2600 (D65).
 Le misure di colore sono state effettuate con spettrofotometro CM 2600 (D65).

CONCLUSIONI

I dati della caratterizzazione cromatiche evidenziano che la percezione del colore del vino è influenzata dalla maturazione e dalla conservazione. La misura del colore del vino è influenzata dalla maturazione e dalla conservazione. La misura del colore del vino è influenzata dalla maturazione e dalla conservazione.

BIBLIOGRAFIA

SET UP SPETTROFOTOMETRO CM 2600 D
 Coloremetro CM 2600 D
 Coloremetro CM 2600 D

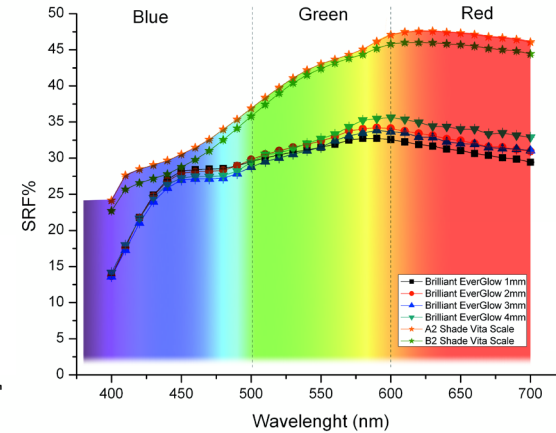
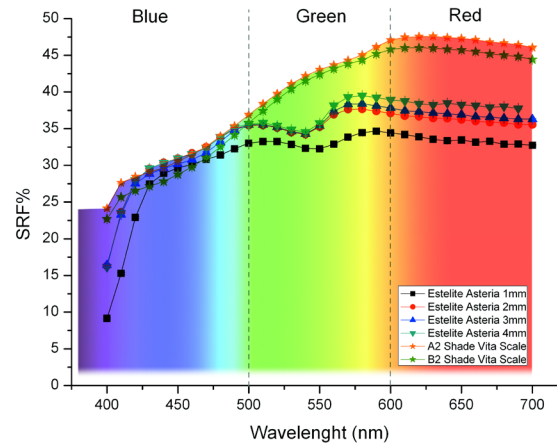


PROPRIETÀ OTTICHE E SPECIFICAZIONE DEL COLORE DI VINI ETNA DOC ROSSO
 A.M. Gueli (UNICT & INFN), G. Bellia (UNICT & INFN), A. Mazzaglia (UNICT),
 M. Nicolosi Asmundi (Az. Vinicola "Barone di Villagrande"), S. Pasquale (UNICT & INFN),
 G. Polli (UNICT & INFN), R. Rattano (UNICT), S.G. Troja (UNICT & INFN).

PRINCIPALE TEMI D'INTERESSE: COLORE, MISURAZIONE, PRODUZIONE

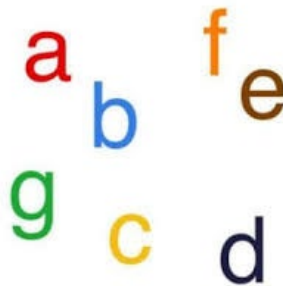
giallo verdolino, rosa tenue, rosso porpora, giallo paglierino, rosa cerasuolo, rosso rubino, giallo dorato, rosa chiaro, rosso granato, giallo ambro, rosso aranciato

Il colore dei denti



La sinestesia grafema - colore

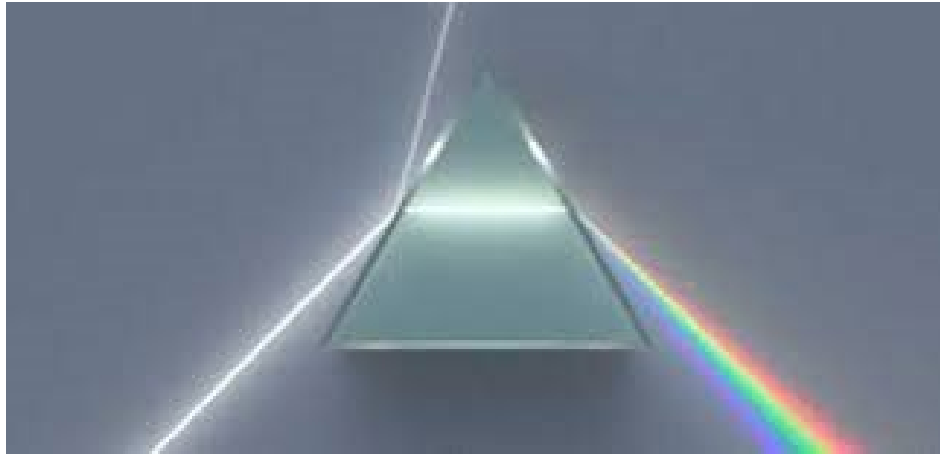
Sinestesia = deriva da due parole greche "syn" (insieme) e "aisthesis" (percezione), pertanto significa letteralmente "sentire insieme" ed indica una **percezione simultanea**.



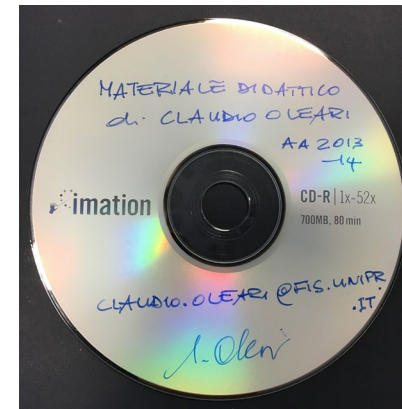
Il progetto di ricerca **SynCol** si basa su uno *Stroop test* appositamente progettato, mediante il quale sono stati confrontati i tempi di reazione dei sinesteti di fronte ad accoppiamenti cifre-colori «corretti» e non, con quelli ottenuti del gruppo di controllo costituito da non sinesteti.

0	0	0	—
1	1	1	—
2	2	2	—
3	3	3	—
4	4	4	—
5	5	5	—
6	6	6	—
7	7	7	—
8	8	8	—
9	9	9	—





Grazie per l'attenzione



Bibliografia

Oleari C. a cura di (2008), *Misurare il colore*, Hoepli

Wysocki & Stiles (2000), *Color Science. Concept and Methods, Quantitative Data and Formulae*, Wiley Interscience

