

**CULTURA  
E SCIENZA  
DEL COLORE**

**COLOR  
CULTURE  
AND SCIENCE**

Rivista dell'Associazione Italiana Colore  
[www.gruppodelcolore.it](http://www.gruppodelcolore.it)



**03**

**15**

rivista semestrale | half-yearly journal

# CULTURA E SCIENZA DEL COLORE COLOR CULTURE AND SCIENCE

Rivista dell'Associazione Italiana Colore  
ISSN 2384-9568

## DIRETTORE RESPONSABILE | EDITOR-IN-CHIEF

Maurizio Rossi

## VICEDIRETTORE | DEPUTY EDITOR

Davide Gadia

## COMITATO SCIENTIFICO | SCIENTIFIC COMMITTEE

John Barbur (*City University London, UK*)  
Berit Bergstrom (*NCS Colour AB, SE*)  
Giulio Bertagna (*B&B Colordesign, IT*)  
Aldo Bottoli (*B&B Colordesign, IT*)  
Patrick Callet (*École Centrale Paris, FR*)  
Jean-Luc Capron (*Université Catholique de Louvain, BE*)  
Elizabeth Condemine (*Couleur & Marketing Paris, FR*)  
Osvaldo Da Pos (*Università degli Studi di Padova, IT*)  
Bepi De Mario (*CRASMI, IT*)  
Hélène DeClermont-Gallernade (*Chanel Parfum beauté, FR*)  
Christine Fernandez-Maloigne (*University of Poitiers, FR*)  
Renato Figini (*Konica-Minolta, EU*)  
Davide Gadia (*Università degli Studi di Milano, IT*)  
Robert Hirschler (*Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, BR*)  
Francisco Imai (*Canon, USA*)  
Lia Luzzatto (*Color and colors, IT*)  
Kevin Mansfield (*UCL, UK*)  
Veronica Marchiafava (*IFAC-CNR, IT*)  
Gabriel Marcu (*Apple, USA*)  
Manuel Melgosa (*Universidad de Granada, ES*)  
Annie Mollard-Desfour (*CNRS, FR*)  
Claudio Oleari (*Università degli Studi di Parma, IT*)  
Laurence Pauliac (*Historienne de l'Art et de l'Architecture, Paris, FR*)  
Marcello Picollo (*IFAC-CNR, IT*)  
Renata Pompas (*AFOL Milano-Moda, IT*)  
Boris Pretzel (*Victoria & Albert Museum, UK*)  
Noel Richard (*University of Poitiers, FR*)  
Katia Ripamonti (*Cambridge Research System, UK*)  
Alessandro Rizzi (*Università degli Studi di Milano, IT*)  
Maurizio Rossi (*Politecnico di Milano, IT*)  
Jodi L. Sandford (*Università di Perugia, IT*)  
Raimondo Schettini (*Università degli Studi di Milano Bicocca, IT*)  
Gabriele Simone (*ST Microelectronics, IT*)  
Andrea Siniscalco (*Politecnico di Milano, IT*)  
Ferenc Szabó (*University of Pannonia, HU*)  
Francesca Valan (*Studio Valan, IT*)  
Ralf Weber (*Technische Universität Dresden, DE*)  
Alexander Wilkie (*Charles University in Prague, CZ*)

## COLLABORATORI | CONTRIBUTORS

Nicola Agresta, Maria Francesca Alberghina, Natalia Alekseeva, Rosita Barraco, Laura Bellia, Fabio Bisegna, Maria Brai, Giulia Brun, Chiara Burattini, Alessandra Cirafici, Michele Emmer, Marta Fibiani, Marco Gargano, Franco Gugliermetti, Roberto Lo Scalzo, Nicola Ludwig, Mario Marchetti, Giuseppe Mennella, Annalisa Moneta, Davide Pandini, Lorella Pellegrino, Renata Pompas, Fernanda Prestileo, Luigi Rossi, Giuseppe L. Rotino, Vincenzo Paolo Senese, Salvatore Schiavone, Andrea Siniscalco, Gennaro Spada, Laura Toppino, Luigi Tranchina

## REDAZIONE | EDITORIAL STAFF

Aldo Bottoli, Daria Casciani, Davide Gadia, Veronica Marchiafava, Francesca Valan

## EDITORE | PUBLISHER

Gruppo del Colore – Associazione Italiana Colore  
www.gruppodelcolore.it

NUMERO 03 - MAGGIO 2015  
NUMBER 03 - MAY 2015



**GRUPPO DEL COLORE**  
ASSOCIAZIONE ITALIANA COLORE

**CULTURA E SCIENZA DEL COLORE**  
**COLOR CULTURE AND SCIENCE**

Rivista dell'Associazione Italiana Colore  
Registrazione presso il Tribunale di Milano  
al n. 233 del 24.06.2014

- ITALIANO** **Impiego della Principal Component Analysis per l'analisi statistica su dati colorimetrici di tessere musive pavimentali** 4  
di Maria Francesca Alberghina, Rosita Barraco, Maria Brai, Lorella Pellegrino, Fernanda Prestileo, Salvatore Schiavone, Luigi Tranchina
- Il ruolo del colore nel progetto di un modulo abitativo per la Stazione Spaziale Internazionale** 12  
di Chiara Burattini, Franco Gugliermetti, Mario Marchetti, Fabio Bisegna
- Metodologie per lo studio di miscele di pigmenti pittorici con spettrometria a fibra ottica** 18  
di Davide Pandini, Nicola Ludwig, Marco Gargano, Annalisa Moneta
- RECENSIONI** **Manlio Brusatin, Verde. Storie di un colore, Biblioteca Marsilio, Venezia, 2013** 24  
**Michel Pastoureau, Verde. Storia di un colore, Adriano Salani Editore, Milano, 2013**  
a cura di Renata Pompas
- ENGLISH** **Colours and Soap Bubbles** 28  
by Michele Emmer
- Interaction of color scheme and noise in the metro interior. Multisensory evaluation and subjective testing** 33  
by Natalia Alekseeva, Alessandra Cirafici, Vincenzo Paolo Senese
- Pigment variation by colorimetric analysis in raw, grilled and boiled eggplant (Solanum melongena L.) fruits** 40  
by Marta Fibiani, Giuseppe L. Rotino, Laura Toppino, Giuseppe Mennella, Roberto Lo Scalzo
- Measured color changes under fluorescent and LED lamps** 45  
by Laura Bellia, Nicola Agresta, Luigi Rossi, Gennaro Spada
- De Coloribus: new perspectives on a series of recipes for making pigments within the Compositionens lucenses tradition** 51  
by Giulia Brun
- DIDACTICS** **Didactic for building professionals. The experience of Lighting Design and Color Design masters** 56  
by Andrea Siniscalco

<sup>1</sup>Maria Francesca Alberghina  
maria.alberghina@unipa.it  
<sup>1</sup>Rosita Barraco  
rosita.barraco@unipa.it  
<sup>1,2</sup>Maria Brai  
maria.brai@unipa.it  
<sup>3</sup>Lorella Pellegrino  
pelegelino@libero.it  
<sup>4</sup>Fernanda Prestileo  
f.prestileo@icvbc.cnr.it  
<sup>5</sup>Salvatore Schiavone  
info@start-test.it  
<sup>2</sup>Luigi Tranchina  
luigi.tranchina@unipa.it

<sup>1</sup>Dipartimento di Fisica e Chimica, Università degli Studi di Palermo  
<sup>2</sup>UniNetLab, Università degli Studi di Palermo  
<sup>3</sup>Laboratorio di Restauro Manufatti di Origine Inorganica, Centro Regionale per la Progettazione e il Restauro, Regione Siciliana, Palermo  
<sup>4</sup>Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la Valorizzazione e la Conservazione dei Beni Culturali, Roma (già Centro Regionale per la Progettazione e il Restauro, Regione Siciliana, Palermo)  
<sup>5</sup>S.T.Art-Test s.a.s, Niscemi (CL)

# Impiego della *Principal Component Analysis* per l'analisi statistica su dati colorimetrici di tessere musive pavimentali progetto con sorgenti colorate al neon

## 1. INTRODUZIONE

Il progetto di recupero e conservazione del complesso archeologico della Villa Romana del Casale (Piazza Armerina, Enna) [1], avviato nel 2007 e ultimato nel 2012 - a cura del Centro Regionale per la Progettazione e il Restauro di Palermo (C.R.P.R.), ha previsto, tra le tecniche diagnostiche per il monitoraggio dell'intervento, l'acquisizione di misure spettrofotometriche, allo scopo di controllare l'eventuale variazione delle coordinate cromatiche [2-5] dovuta agli interventi di pulitura e di consolidamento delle superfici musive pavimentali della Villa [6].

Ciò ha posto gli operatori di fronte alla necessità di individuare uno strumento analitico in grado di gestire un elevato numero di dati e di fornire un quadro sinottico funzionale per una migliore comprensione del comportamento cromatico dei materiali a seguito delle fasi dell'intervento e delle variazioni nel tempo.

In questo contesto si intende evidenziare come l'analisi di dati spettrofotometrici possa rappresentare un utile strumento conoscitivo per il restauratore, coadiuvandolo nelle scelte

operative. Un impiego efficace delle informazioni così fornite dipende però dall'immediatezza e dalla facilità di lettura dei dati anche da parte degli operatori degli interventi di restauro, per i quali le tematiche riguardanti la misura del colore e la sua rappresentazione spesso non sono familiari. Per ovviare a tale inconveniente, e quindi valutare nella maniera più immediata e corretta gli effetti generati sulle superfici in seguito ai trattamenti di pulitura e di consolidamento, l'analisi delle componenti principali (PCA - *Principal Component Analysis*) è stata applicata ai dati colorimetrici acquisiti sulle tessere musive, proponendo in tal modo una possibile lettura più intuitiva dei fenomeni generati dalle variazioni colorimetriche. In generale la PCA viene impiegata in differenti campi applicativi: per esaminare la variabilità spaziale di contaminanti, nel caso di analisi ambientale [7]; per valutare l'entità e la distribuzione di fenomeni di degrado, nel caso di indagini diagnostiche nel campo dei beni culturali; come anche, più di recente, per il monitoraggio delle variazioni cromatiche di superficie di diversa tipologia sottoposte a trattamenti di pulitura, consolidamento e/o

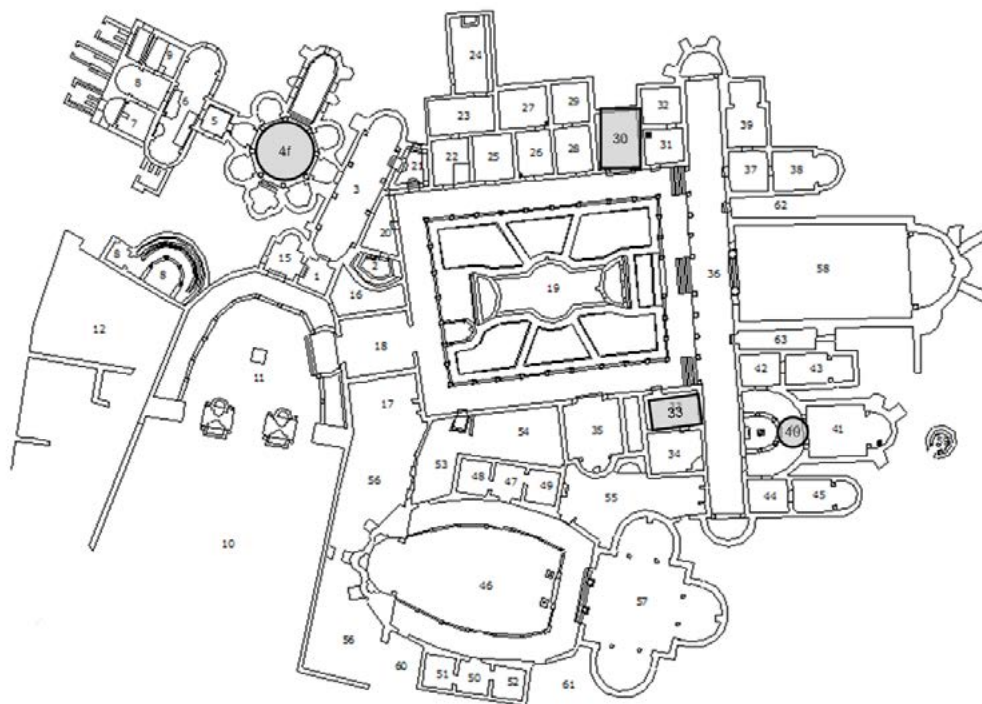


Figura 1 – Villa Romana del Casale di Piazza Armerina: planimetria con localizzazione delle stanze (evidenziate in grigio le stanze 4f, 30, 33, e 40) all'interno delle quali sono stati acquisiti i dati colorimetrici per il monitoraggio delle superfici musive.

protezione [8].

Come esempio esplicativo di quest'ultimo utilizzo, viene qui presentato quello dell'indagine colorimetrica eseguita su alcune porzioni campione della pavimentazione realizzata a tessere musive della stanza della Piccola Caccia (stanza 30) della Villa, scelta quale area campione dell'intervento pilota di pulitura della superficie musiva, realizzato mediante impacchi di carbonato d'ammonio, nonché di differenti aree musive delle stanze *Frigidarium* (4f), *Stanza a mosaico a riquadri* (33) ed *Esedra* (40), scelte per il monitoraggio del trattamento protettivo tramite impacchi di ossalato di ammonio (Figura 1).

I valori colorimetrici, di seguito riportati, sono stati acquisiti sia prima che dopo i trattamenti, misurando i dati spettrofotometrici relativi alle fasi di ciascun trattamento.

Lo studio condotto ha evidenziato le potenzialità della PCA, permettendo di valutare in maniera immediata e corretta gli effetti generati sulle superfici a seguito dei trattamenti di restauro ed evidenziando la correlazione esistente tra le variazioni delle tre variabili  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , relative ai dati colorimetrici acquisiti prima e dopo gli interventi. Nel caso delle tessere della stanza *Piccola Caccia* la distribuzione in cluster dei dati proiettati in un piano bidimensionale, evidenziata dalla PCA, ha consentito di individuare più chiaramente la variabile che, in seguito alla

pulitura, contribuisce maggiormente al viraggio cromatico. Inoltre, grazie al raggruppamento in cluster dei dati è stato possibile monitorare, in maniera differenziata, il comportamento in superficie di tessere musive, aventi colore differente, sottoposte allo stesso trattamento di pulitura. L'obiettivo applicativo della PCA è stato, infatti, quello di valutarne l'efficienza analitica nell'interpretare i fenomeni sulla superficie musiva, dovuti non solo alla pulitura ma anche ai trattamenti di consolidamento e protezione.

## 2. MATERIALI E METODI

Le misure sono state effettuate mediante impiego di uno spettrofotometro portatile Minolta modello CM 2600d. Per ciascuna area campione degli ambienti oggetto di analisi sono state realizzate delle maschere in acetato sulle quali sono stati riportati alcuni punti di riferimento, al fine di assicurare la ripetibilità delle misure nel tempo, così come riportato in figura 2.a-b per la stanza 30 [2-5, 9-10].

Per effettuare le misure lo strumento è stato settato con i seguenti parametri: media auto 3 (numero delle misure eseguite su uno stesso campione e relativo valore medio); tempo di misura 0,3 secondi (tempo di presa); area di lettura "S" (circolare, con diametro efficace di 3 mm); SCI (componente speculare inclusa);

Figura 2 – *Piccola Caccia* (stanza 30): a) posizionamento della Maschera A, punti di misura da 1A a 17A; b) posizionamento della Maschera B, punti di misura da 1B a 23B.



a)



b)



illuminante primario D65; osservatore normale 10°. Lo spazio del colore adottato è quello L\* a\* b\* ΔE (CIE 1976) [11-12], più comunemente impiegato nel campo del restauro. Durante le misure è stata rilevata la temperatura ambientale.

I dati colorimetrici acquisiti sono stati elaborati tramite PCA. La tecnica di analisi delle componenti principali permette di visualizzare, in uno spazio bidimensionale, una matrice di dati multidimensionale, caratterizzati quindi da più di due variabili, identificando la distribuzione dell'insieme di dati ed evidenziando similarità e/o differenze tra questi.

La PCA, infatti, è una tecnica di riduzione delle variabili in base alla quale le nuove variabili (componenti principali o fattori) vengono calcolate dalle combinazioni lineari delle variabili originali, ossia, nel caso specifico, le tre coordinate colorimetriche L\*, a\* e b\*. Ciascuno dei fattori ricavati dall'analisi spiega una parte della varianza dei dati. In particolare, il primo fattore spiega una maggiore percentuale di questa varianza rispetto al secondo e così via fino all'ultimo; in maniera tale che il 100% della varianza venga spiegato da un numero di fattori pari al numero delle variabili analizzate.

I *Factor loadings* sono invece rappresentati dai coefficienti di correlazione esistenti tra le variabili originali ed i fattori ricavati. Questi sono generalmente utilizzati per investigare i processi che controllano la variabilità nei dati. La rappresentazione grafica rende di immediata comprensione l'interpretazione dei risultati ottenuti da questo tipo di analisi multivariata [7-8].

### 3. ANALISI DEI DATI COLORIMETRICI

Vengono di seguito riportati i dati spettrofotometrici acquisiti prima e dopo le fasi di pulitura sulle tessere della Piccola Caccia, corrispondentemente a ciascuna delle due zone indagate.

Per quanto riguarda la porzione musiva in corrispondenza della Maschera A, dal confronto dei valori colorimetrici dei punti campione acquisiti prima della pulitura e di quelli relativi agli stessi punti misurati dopo la prima fase consistente in impacchi di carbonato di ammonio, è stato possibile rilevare la presenza di forti variazioni cromatiche dovute soprattutto ad un aumento della luminosità L\* e, in quasi tutti i casi, una leggera diminuzione dei valori colorimetrici a\* e b\*, come mostrato dalle differenze calcolate e riportate in tabella 1 e dal grafico in figura 3.

Le medesime considerazioni valgono per le variazioni osservate nei punti di misura dell'area in corrispondenza della Maschera B, tra i valori acquisiti prima della pulitura e quelli misurati dopo gli impacchi di carbonato d'ammonio, riportati nel grafico di figura 4.

Anche in questo caso, i valori di ΔE sono spiegabili con un aumento della luminosità ed una diminuzione della saturazione, come si evince dai dati di variazione cromatica riportati in tabella 2.

Infine, nel grafico di figura 5, nel quale sono presi ad esempio i "rossi" e gli "incarnati", è chiaro che il trattamento a carbonato di ammonio non ha causato alcuna modifica dell'andamento della curva di Riflettanza (%) alle varie lunghezze

Tabella 1 - Variazione delle coordinate colorimetriche delle tessere musive relative ai punti di misura della Maschera A (Piccola Caccia) ottenute in seguito al trattamento con carbonato d'ammonio.

Punti di misura	Sigla	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔE
<b>Punto 1A incarnato</b>	1A_I	10.97	2.77	-4.61	12,22
<b>Punto 2A incarnato</b>	2A_I	6.08	-2.46	-6.17	9,00
<b>Punto 3A rosso</b>	3A_R	2.12	2.00	-2.39	3,77
<b>Punto 4A bianco</b>	4A_W	2.65	-0.21	-1.71	3,15
<b>Punto 5A verde</b>	5A_G	15.54	-0.67	-2.13	15,70
<b>Punto 6A verde</b>	6A_W	15.03	-0.68	-2.86	15,32
<b>Punto 7A bianco</b>	7A_W	2.42	-0.18	-1.70	2,96
<b>Punto 8A verde</b>	8A_G	16.74	-0.50	-2.41	16,92
<b>Punto 9A rosso</b>	9A_R	7.75	-1.33	-3.30	8,53
<b>Punto 10A verde</b>	10A_G	8.40	0.83	-3.23	9,04
<b>Punto 11A rosso</b>	11A_R	6.64	-1.55	-2.79	7,37
<b>Punto 12A nero</b>	12A_B	1.23	-0.10	-0.91	1,53
<b>Punto 13A nero</b>	13A_B	2.53	-0.17	-1.67	3,04
<b>Punto 14A giallo</b>	14A_Y	4.16	-0.89	-3.76	5,68
<b>Punto 15A giallo</b>	15A_Y	2.46	-1.06	-4.45	5,20
<b>Punto 16A giallo</b>	16A_Y	9.04	-1.35	-2.32	9,44
<b>Punto 17A giallo</b>	17A_Y	5.19	0.61	2.89	5,97

d'onda nel visibile, ma ha apportato soltanto una variazione costante dei valori percentuali, lungo il range spettrale acquisito, uniformando la Riflettanza (%) per tessere musive simili.

#### 4. PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS DEI DATI SPETTROFOTOMETRICI

I valori delle coordinate colorimetriche acquisiti per ciascun punto campione, prima e dopo i trattamenti, sono stati successivamente analizzati statisticamente tramite PCA.

I dati colorimetrici sottoposti ad analisi statistica, oltre a quelli già presi in considerazione nel paragrafo precedente relativi alla *Piccola Caccia* (stanza 30), sono stati acquisiti in corrispondenza di differenti aree musive delle stanze *Frigidarium* (4f), *Stanza a mosaico a riquadri* (33) ed *Esedra* (40). La PCA, dunque, è stata applicata all'analisi di due casi studio: 1) valutazione degli effetti cromatici conseguenti agli interventi di pulitura (Figura 6a); 2) monitoraggio del trattamento protettivo tramite impacchi all'ossalato di ammonio (Figura 6b) [2, 4-5, 10].

Nel primo caso, allo scopo di evidenziare gli effetti della pulitura, sono state scelte due tipologie di tessere musive "acromatiche" (tessere bianche e nere) (Figura 6a). In particolare, le misure sono state acquisite su aree campione selezionate all'interno delle seguenti stanze: 4f, 30, 33 e 40. Prima e dopo la pulitura, i valori delle coordinate colorimetriche  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , acquisiti per ognuno dei punti campione, sono stati analizzati statisticamente tramite PCA (Figura 7). Le due componenti principali (F1 e F2) isolate dall'analisi multivariata spiegano complessivamente il 97% della varianza dei dati. In particolare, il fattore F1 l'85% ed F2 il 12%. Come atteso, l'analisi produce raggruppamenti (*cluster*) dei punti campione differenziando chiaramente i bianchi dai neri: le variabili  $a^*$ ,  $b^*$  e  $L^*$  mostrano valori più alti per i campioni bianchi (asse x positivo in Fig. 7) e valori inferiori per i campioni neri (asse x negativo in Figura 7). La presenza dei due *macrocluster* permette, quindi, di monitorare gli effetti di pulitura per singolo raggruppamento attraverso la correlazione esistente tra le variazioni delle coordinate cromatiche. Per quanto riguarda il cluster relativo alle tessere nere, la PCA rivela un'ulteriore raggruppamento dei dati (prima e dopo la pulitura) per stanza di appartenenza (stanze 30, 33).

I punti appartenenti alle misure effettuate nella stanza 40, data la loro l'esiguità, non possono considerarsi raggruppamento statisticamente significativo. Per l'intero set di dati relativi alle tessere nere, la variabile che maggiormente evidenzia l'effetto della pulitura è  $L^*$  che aumenta dopo il trattamento, a differenza delle altre due coordinate cromatiche pressoché costanti. Si sottolinea, altresì, che l'aumento della luminosità

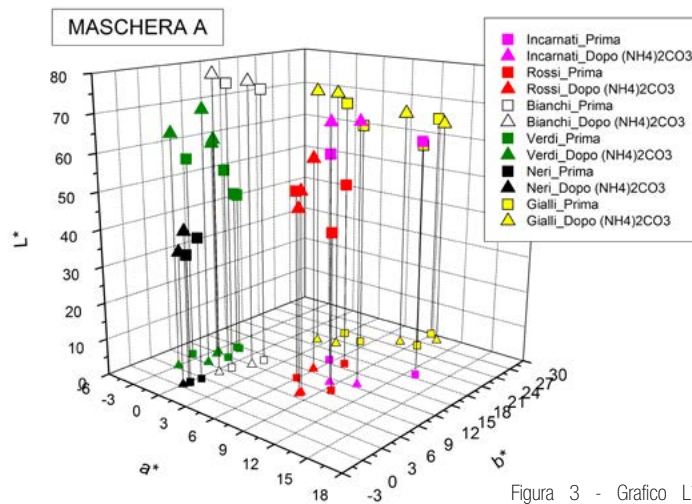


Figura 3 - Grafico  $L^*a^*b^*$  delle coordinate colorimetriche delle tessere musive relative ai punti di misura della Maschera A (*Piccola Caccia*) prima e dopo il trattamento con carbonato d'ammonio.

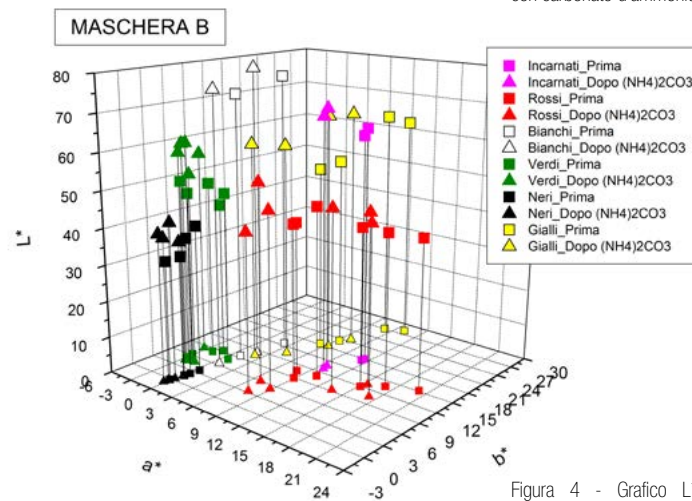


Figura 4 - Grafico  $L^*a^*b^*$  delle coordinate colorimetriche delle tessere musive relative ai punti di misura della Maschera B (*Piccola Caccia*) prima e dopo il trattamento con carbonato d'ammonio.

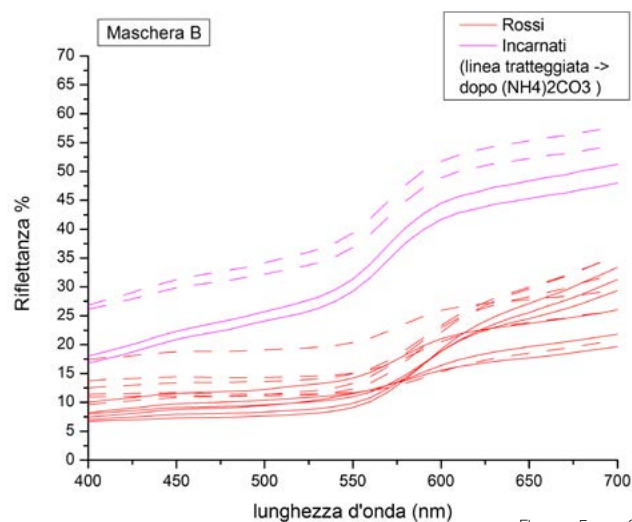


Figura 5 - Curve di Riflettanza spettrale (%) relative ai punti di misura 1-4, 12, 13, 22, 23 della Maschera B prima (linea continua) e dopo il trattamento con  $(NH_4)_2CO_3$  (linea tratteggiata).

Tabella 2 - Variazione delle coordinate colorimetriche delle tessere musive relative ai punti di misura della Maschera B (*Piccola Caccia*) ottenute in seguito al trattamento con carbonato d'ammonio.

Punti di misura	Sigla	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E$
<b>Punto 1B rosso</b>	1B_R	5.64	-1.62	-2.69	6,46
<b>Punto 2B rosso</b>	2B_R	5.05	-1.62	-0.81	5,36
<b>Punto 3B rosso</b>	3B_R	0.99	-0.44	-7.23	7,31
<b>Punto 4B rosso</b>	4B_R	5.30	-0.11	-3.68	6,46
<b>Punto 5B verde</b>	5B_G	11.99	-0.36	-2.88	12,34
<b>Punto 6B nero</b>	6B_B	-3.31	-0.29	-2.14	3,95
<b>Punto 7B nero</b>	7B_B	5.07	-0.35	-1.91	5,43
<b>Punto 8B verde</b>	8B_G	12.05	0.52	-1.69	12,18
<b>Punto 9B giallo</b>	9B_Y	2.17	-0.98	-5.38	5,89
<b>Punto 10B verde</b>	10B_G	10.60	0.76	-0.46	10,64
<b>Punto 11B bianco</b>	11B_W	1.99	-0.27	-3.10	3,69
<b>Punto 12B incarnato</b>	12B_I	5.95	-1.67	-4.59	7,70
<b>Punto 13B incarnato</b>	13B_I	5.87	-1.93	-4.19	7,47
<b>Punto 14B bianco</b>	14B_W	2.99	-0.51	-4.03	5,04
<b>Punto 15B giallo</b>	15B_Y	7.88	-1.15	-4.55	9,17
<b>Punto 16B giallo</b>	16B_Y	6.87	-4.32	-9.68	12,63
<b>Punto 17B verde</b>	17B_G	5.64	-2.16	-2.93	6,71
<b>Punto 18B verde</b>	18B_G	13.81	-2.15	-0.81	14,00
<b>Punto 19B nero</b>	19B_B	7.08	-0.51	-2.48	7,52
<b>Punto 20B nero</b>	20B_B	6.32	-0.07	-0.16	6,32
<b>Punto 21B giallo</b>	21B_Y	3.83	-3.75	-9.67	11,06
<b>Punto 22B rosso</b>	22B_R	4.73	-2.92	-4.51	7,16
<b>Punto 23B rosso</b>	23B_R	7.03	-3.43	-4.91	9,24

è correlabile ad un miglioramento delle proprietà ottiche delle superfici in seguito all'intervento. Nel caso delle tessere bianche, non è possibile distinguere le stanze all'interno del *macrocluster*. La PCA mostra gli effetti della pulitura attraverso la simultanea diminuzione di  $a^*$  e  $b^*$ , correlabile ad una decolorazione delle tessere (rimozione di depositi superficiali) ed un aumento di  $L^*$  conseguente all'aumento della luminosità.

Il secondo caso studio ha riguardato l'analisi PCA di dati inerenti tessere musive di differenti cromie (rosso, rosa, giallo e varie tonalità di verde) (Fig. 6b) acquisite in tre differenti

intervalli temporali dal trattamento (I fase: subito dopo; II fase: dopo 11 mesi; III fase: dopo 41 mesi). Per facilitare la lettura degli effetti del trattamento protettivo, la PCA è stata effettuata separando i dati appartenenti alle tessere rosse, rosa e gialle (primo gruppo) da quelle di cromia verde (secondo gruppo). Oltre le coordinate colorimetriche  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , nella PCA sono stati considerati anche i valori misurati di  $C$ ,  $h$ , ed i valori, calcolati nel range 400 nm - 700 nm, sia dell'integrale della curva di Riflettanza ( $I_{(R\%)}$ ) che della lunghezza d'onda in nm corrispondente al valore massimo della derivata ( $\lambda$  nm). L'utilizzo

Figura 6 - Villa Romana del Casale: a) area campione stanza 33, maschera C: esempio di tessere bianche e nere sottoposte al trattamento di pulitura; b) area campione stanza 30, maschera F: esempio di tessere musive di differente cromia trattate con ossalato d'ammonio.



a)



b)



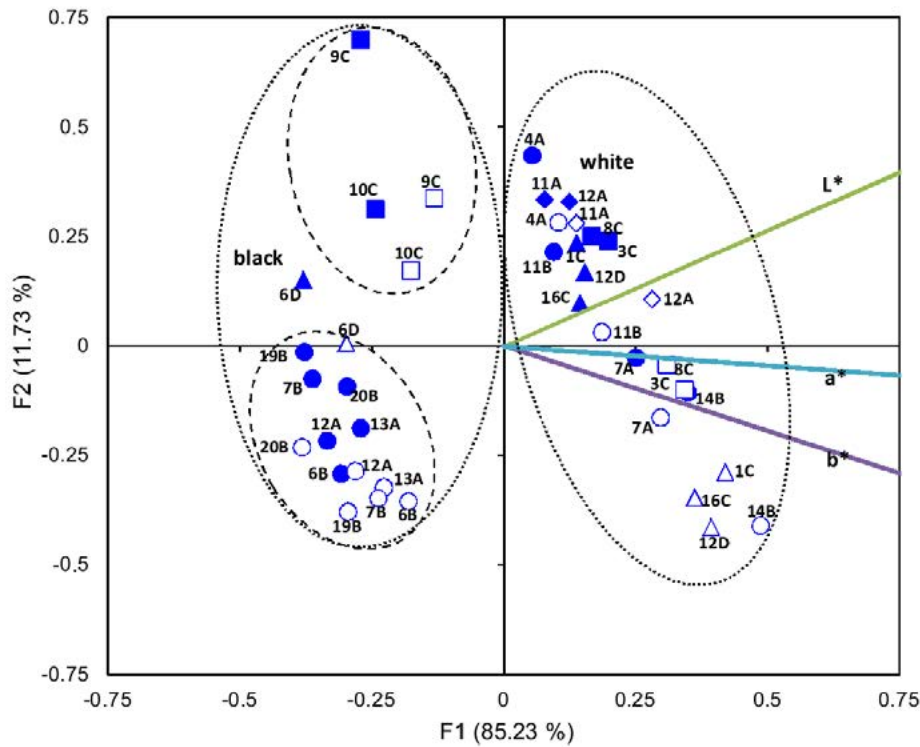


Figura 7 - Grafico PCA: confronto tra i valori acquisiti prima (simboli vuoti) e quelli acquisiti dopo l'intervento di pulitura (simboli pieni) per ognuno dei punti indagati. I simboli grafici sono identificativi delle stanze, in dettaglio: il quadrato identifica la stanza 33, il cerchio la stanza 30, il triangolo la stanza 40 ed infine il rombo la 4f (per la localizzazione vedi figura 1). Le linee a punti individuano i cluster omogenei per colorazione (*black* a sinistra e *white* a destra), le linee tratteggiate raggruppano i punti appartenenti alle stesse stanze.

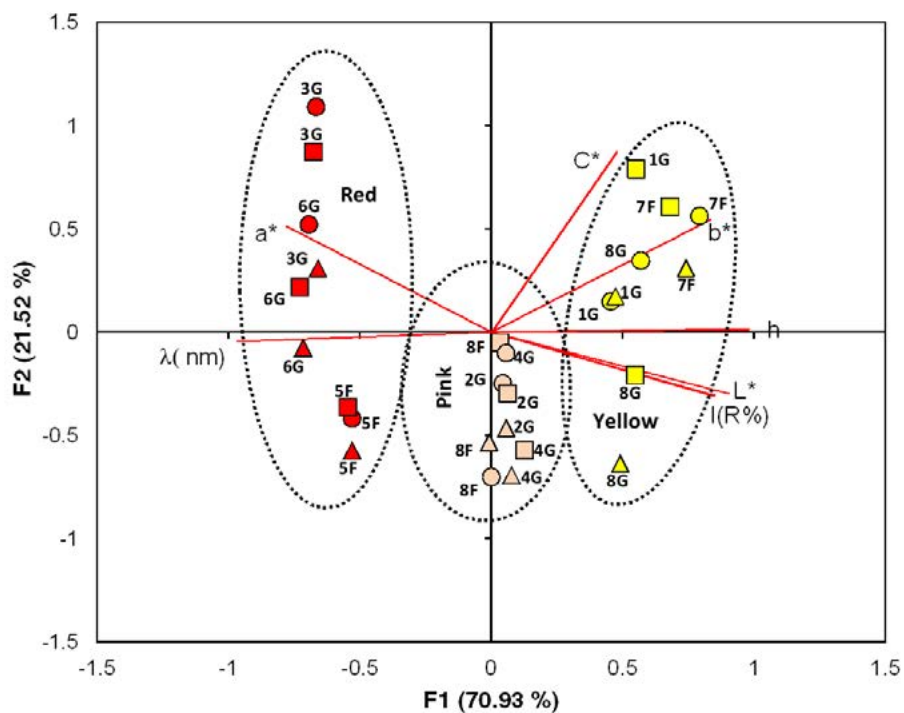
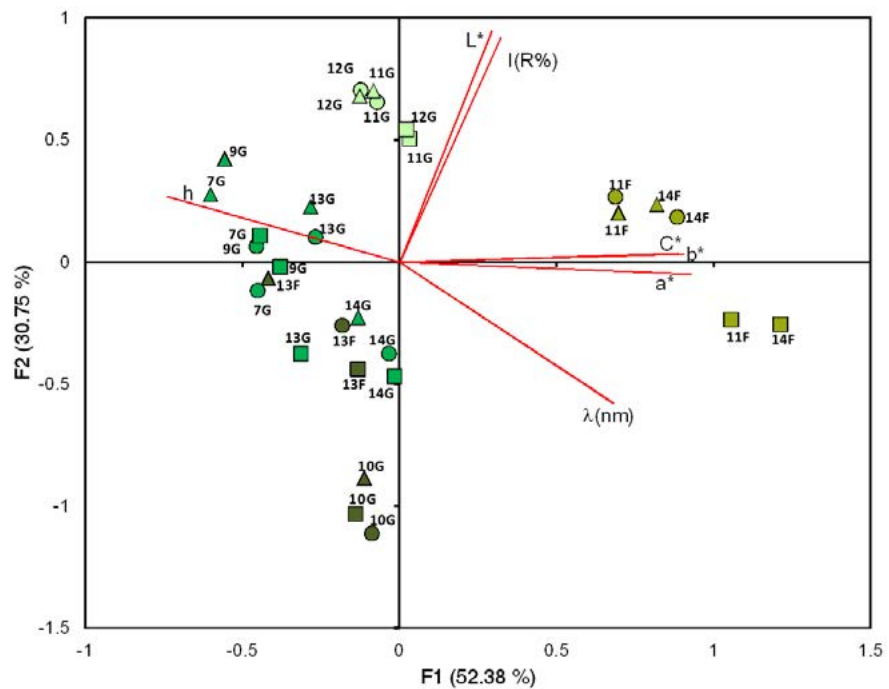


Figura 8 - Grafico PCA rispetto alle variabili  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $h$ ,  $I(R\%)$  e  $\lambda$  nm: confronto tra i valori acquisiti subito dopo il trattamento protettivo (cerchio), dopo 11 mesi dal trattamento (triangolo) e dopo 41 mesi dal trattamento (quadrato). I colori dei simboli sono identificativi delle cromie: rosso, rosa e giallo.

delle variabili  $I_{(R\%)}$ ,  $\lambda$  nm, più significativo in questo caso che per le tessere bianche e nere, nasce dalla necessità di monitorare la curva di Riflettanza (%) in termini rispettivamente di area e di andamento nell'intero *range* spettrale di interesse. Nel primo gruppo di cromie, le componenti F1 e F2 spiegano complessivamente il 92.45% della varianza dei dati (Figura 8). La PCA di questo gruppo separa le tessere per cromia, distinguendo rossi, rosa e gialli ed evidenziando la maggiore omogeneità, in termini di andamento della curva di Riflettanza (%), dei rossi e dei rosa rispetto al cluster dei gialli. In

generale, per quanto riguarda il monitoraggio del trattamento nelle tre fasi di misura, l'analisi mostra la tendenza ad un riavvicinamento ai valori spettrofotometrici misurati subito dopo il trattamento, dopo un iniziale allontanamento registrato in corrispondenza della II fase. Questo comportamento sembra suggerire la presenza di un'alterazione che influenza le proprietà ottiche della patina di trattamento le cui peculiarità dovranno essere evidenziate da specifiche analisi chimico-fisiche. Ulteriori dati temporali intermedi avrebbero permesso una valutazione più significativa dell'evoluzione del

Figura 9 - Grafico PCA rispetto alle variabili  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C$ ,  $h$ ,  $l$  (R%) e  $\lambda$  nm: confronto tra i valori acquisiti subito dopo il trattamento protettivo (cerchio), dopo 11 mesi dal trattamento (triangolo) e dopo 41 mesi dal trattamento (quadrato). I colori dei simboli sono identificativi delle differenti tonalità di tessere verdi misurate.



trattamento nel tempo. I dati relativi alle tessere di colore rosa, in funzione della fase di misura, si differenziano per una minore variazione riconducibile ad una probabile maggiore stabilità del trattamento.

Nella PCA del secondo gruppo di cromie (differenti tonalità di verde), le componenti F1 e F2 spiegano complessivamente l'83.13% della varianza dei dati (Figura 9). In questo caso, l'analisi statistica separa le tessere per tonalità di verde (verde scuro, verde chiaro e verde oliva, rispettivamente da sinistra verso destra), collocando in due semipiani distinti, perpendicolari all'asse di  $L^*$ , i più chiari e i più scuri. In relazione al trattamento, per il *cluster* dei verdi scuri la tendenza generale è quella già riscontrata per i dati relativi al primo gruppo (Figura 9). Al contrario, per i rimanenti dati spettrofotometrici relativi agli altri due *cluster*, la III fase rivela un ulteriore allontanamento dai valori che caratterizzano la I fase, molto più marcato nel caso dei verdi oliva. Inoltre, questi ultimi in corrispondenza dell'ultima fase, risultano caratterizzati da una maggiore saturazione (spostamento verso valore positivi dell'asse x: aumento di  $a^*$ ,  $b^*$  e  $C^*$  e simultanea diminuzione di  $h$  e  $L^*$ ).

#### 4. CONCLUSIONI

L'analisi dei dati colorimetrici finora condotta ha evidenziato le potenzialità della PCA, permettendo di valutare in maniera immediata e corretta gli effetti generati sulle superfici a seguito dei trattamenti di restauro e di approfondire le osservazioni deducibili dalla sola analisi dell'andamento dei valori delle coordinate colorimetriche e della riflettanza.

Dall'analisi dei risultati delle misure

spettrofotometriche qui presentati è stato possibile rilevare, in seguito al trattamento di pulitura con impacchi di carbonato di ammonio, la presenza di variazioni cromatiche caratterizzate da un aumento della luminosità  $L^*$  unitamente, in quasi tutti i casi indagati, ad una diminuzione della saturazione cromatica ( $a^*$  e  $b^*$ ). La variazione dei valori di  $a^*$  e  $b^*$  potrebbe essere imputabile all'eliminazione dello strato di cera che, pur saturando i colori, aveva inglobato depositi di sporco con conseguente diminuzione della luminosità.

È apparso evidente, inoltre, che il trattamento a carbonato di ammonio non ha causato alcuna modifica dell'andamento della curva di Riflettanza (%) alle varie lunghezze d'onda nel visibile, ma soltanto una variazione dei valori percentuali, costante lungo il *range* spettrale acquisito, uniformando la Riflettanza (%) per tessere musive simili (colore e rugosità superficiale). Infatti, l'indagine condotta ha verificato e documentato la maggiore uniformità cromatica ottenuta grazie all'intervento di pulitura che ha permesso di eliminare i depositi che alteravano i reali valori di Riflettanza (%) delle superfici musive.

Inoltre, questo studio, attraverso l'analisi statistica di un elevato numero di dati spettrofotometrici, ha permesso di monitorare, in maniera differenziata, il comportamento della superficie di tessere musive di cromia differente. La PCA, infatti, si è rivelata un efficiente strumento analitico per valutare gli effetti di interventi di pulitura e trattamenti protettivi superficiali. Inoltre, è stato possibile verificare la capacità della PCA di facilitare l'interpretazione simultanea del comportamento delle variabili spettrofotometriche dell'intero set analizzato, raggruppando i dati per tipologia di cromia e

fase di misura. In generale, l'integrazione dei dati già analizzati con ulteriori dati provenienti da misure di tipo chimico-fisico (XRF, SEM, FT-IR, etc.) potrebbe permettere di spiegare il comportamento spettrofotometrico evidenziato dalla PCA e di individuarne le cause.

## RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare l'Arch. Guido Meli, già Direttore del Parco Archeologico della Villa Romana del Casale e delle Aree Archeologiche di Piazza Armerina e dei Comuni limitrofi, e l'intero gruppo di lavoro del "Progetto di restauro e conservazione della Villa Romana del Casale".

Il presente articolo è frutto del lavoro di revisione e integrazione dei due contributi presentati alla VI (Lecce 2010) e alla VII (Roma 2011) Conferenza Nazionale del Colore, così come riportato in bibliografia.

## BIBLIOGRAFIA

[1] C.R.P.R., "Progetto di recupero e conservazione della Villa Imperiale del Casale di Piazza Armerina", I Quaderni di Palazzo Montalbo, I Grandi Restauri, n. 12/1, Palermo, 2007.

[2] M.F. Alberghina, M. Brai, L. Pellegrino, F. Prestileo, S. Schiavone, L. Tranchina, "Analisi statistica tramite PCA su dati colorimetrici di tessere musive pavimentali", in M. Rossi (a cura di), *Colore e Colorimetria: contributi multidisciplinari*, Atti della VI Conferenza Nazionale del Gruppo del Colore, Università degli Studi del Salento - Lecce, 16-17 settembre 2010, Collana Quaderni di Ottica e Fotonica, 19, Maggioli Editore, Rimini, 2010, pp. 255-264.

[3] F. Prestileo, M.F. Alberghina, S. Schiavone, L. Pellegrino, G. Meli, D. Perrone, "L'analisi colorimetrica a supporto dell'intervento di restauro sui mosaici della Villa Romana del Casale di Piazza Armerina", in M. Rossi (a cura di), *Colore e Colorimetria: contributi multidisciplinari*, Atti della VII Conferenza Nazionale del Gruppo del Colore, Università degli Studi Sapienza, Roma, 15-16 settembre 2011, Collana Quaderni di Ottica e Fotonica, 20, Maggioli Editore, Rimini, 2011, pp. 429-436.

[4] M.F. Alberghina, M. Brai, L. Pellegrino, F. Prestileo, S. Schiavone, L. Tranchina, "Ulteriori valutazioni sull'impiego della Principal Component Analysis su dati colorimetrici di tessere musive pavimentali", in M. Rossi (a cura di), *Colore e Colorimetria: contributi multidisciplinari*, Atti della VII Conferenza Nazionale del Gruppo del Colore, Università degli Studi Sapienza, Roma, 15-16 settembre 2011, Collana Quaderni di Ottica e Fotonica, 20, Maggioli Editore, Rimini, 2011, pp. 443-448.

[5] M.F. Alberghina, R. Barraco, S. Basile, M. Brai, L. Pellegrino, F. Prestileo, S. Schiavone, L. Tranchina, "Mosaic floors of roman Villa del Casale: Principal component analysis on spectrophotometric and colorimetric data", *Journal of Cultural Heritage*, 15, pp. 92-97 (2014)

[6] C. Colombo, F. Fratini, M. Matteini, L. Pellegrino, M. Realini, S. Rescic, L. Rosi, "The mosaic paving of Villa del Casale (Piazza Armerina - EN): proposal of conservation treatments", Atti del III Convegno Internazionale La Materia e i Segni della Storia. Scienza e Patrimonio Culturale nell'Area del Mediterraneo, Palermo, 18-21/10/2007, I

Quaderni di Palazzo Montalbo, n. 15, C.R.P.R., Palermo, 2009, pp. 367-375.

[7] Tranchina, L., S. Basile, M. Brai, A. Caruso, C. Cosentino, S. Micciché, "Distribution of heavy metals in marine sediments of Palermo Gulf (Sicily, Italy)", in *Water Air and Soil Pollution*, 191 (1-4), 2008, pp. 245-256.

[8] G. Luciano, R. Leardi, P. Letardi, "Principal component analysis of colour measurements of patinas and coating systems for outdoor bronze monuments", in *Journal of Cultural Heritage*, 10, 2009, pp. 331-337.

[9] E. Cacciatore, F. Prestileo, G. Bruno, L. Pellegrino, D. Perrone, M. F. Alberghina, S. Schiavone, "Monitoring the Decorated Surfaces of the Roman Villa del Casale in Piazza Armerina (Italy)", in P. Tiano, C. Pardini (a cura di), *Proceedings of International Workshop - SMW08 In Situ Monitoring of Monumental Surfaces*, Florence, 27-29/10/2008, Edifir Edizioni, Firenze, 2008, pp. 301-306.

[10] F. Prestileo, G. Bruno, M. F. Alberghina, S. Schiavone, L. Pellegrino, "I mosaici della Villa Romana del Casale di Piazza Armerina: il contributo delle indagini colorimetriche per la stesura del protocollo di intervento", in A. Rizzi (a cura di), *Colore e Colorimetria: contributi multidisciplinari*, Atti della III Conferenza Nazionale del Gruppo del Colore, Torino, 24-26/10/2007, Collana Quaderni di Ottica e Fotonica, 16, CET, Firenze, 2007, pp. 45-55.

[11] C. Oleari (a cura di), "Misurare il colore", Ed. Hoepli, Milano, 2002.

[12] UNI EN 15886:2010, Conservation of Cultural Property - Test Methods - Colour Measurement of Surfaces.

# Il ruolo del colore nel progetto di un modulo abitativo per la Stazione Spaziale Internazionale

<sup>1</sup>Dip. DIAEE, "Sapienza"  
Università di Roma

## 1. INTRODUZIONE

Al di fuori dell'atmosfera, l'ambiente spaziale presenta sostanziali differenze rispetto a quello terrestre; alcune di queste, come il vuoto e l'ossigeno atomico, sono rese prive di effetto con la costruzione di un habitat spaziale, mentre altre, come le radiazioni e l'assenza di gravità, esplicano i loro effetti anche all'interno di ambienti artificiali appositamente costruiti per la vita nello Spazio [1].

Molte sono le conseguenze, soprattutto di natura fisiologica, che la microgravità ha sull'essere umano: la letteratura riporta sia problemi persistenti per tutto il periodo di permanenza nello Spazio, sia problemi temporanei che spariscono dopo un periodo di adattamento di qualche giorno [2] [3]. Durante i primi giorni nello Spazio gli astronauti soffrono di malessere dovuto al funzionamento del sistema vestibolare: i sensori del sistema otolitico situati nella parte interna dell'orecchio, non percependo lo stimolo gravitazionale, generano disorientamento e nausea, mentre i movimenti della testa, stimolando il canale semicircolare, provocano vertigini [4].

Fin dalle prime esperienze in orbita, gli astronauti hanno raccontato di aver sperimentato quella che è stata definita "*Inversion Illusion*", ossia la sensazione di stare all'interno di un veicolo che vola costantemente capovolto a testa in giù, sensazione che viene meno sedendo saldamente su una sedia e che normalmente sparisce dopo i primi giorni in orbita [5].

Tra gli effetti permanenti causati dalla microgravità ci sono quelli legati all'orientamento degli astronauti, provocati dalla fluttuazione all'interno dei veicoli spaziali di qualsiasi oggetto o persona non ancorati alle pareti. Le conseguenze possono sembrare banali, ma l'assenza di gravità rende un ambiente spaziale profondamente differente rispetto a quelli cui siamo abituati sulla Terra, soprattutto per ciò che concerne gli aspetti percettivi. Non essendo presente la forza che tiene ancorati al suolo, nello Spazio non si è vincolati da un asse verticale predefinito ed univoco, ma esistono assi relativi che si modificano di volta in volta in funzione dei movimenti e delle rotazioni di ogni singolo astronauta [6]. Il concetto di pavimento, soffitto e pareti laterali perde di significato perché le superfici di un ambiente sono tutte indifferenti tra loro e cambiano continuamente

identità: il pavimento è di volta in volta quello che l'astronauta ha sotto i suoi piedi ed il soffitto quello sopra la sua testa. Questo permette di sfruttare tutte le superfici interne nella loro interezza per posizionare apparecchiature ed oggetti perché qualsiasi punto diventa accessibile all'equipaggio, ma allo stesso tempo crea ambiguità perché le pareti si confondono tra loro provocando disorientamento negli astronauti. L'effetto si amplifica al passaggio da un modulo all'altro quando questi sono orientati in maniera differente e nei nodi, dove vi sono collegamenti in tutte e sei le direzioni dello spazio: queste circostanze causano nell'astronauta la "*visual reorientation illusion*" (VRI), descrivibile come lo sgradevole effetto che si prova all'ingresso in un ambiente conosciuto da una direzione inusuale o quando si perde il senso dell'orientamento [7]. La sensazione sparisce una volta che la persona si è ruotata, posizionandosi correttamente: in questo sono di aiuto le irregolarità dello spazio interno, la posizione degli oggetti, ma soprattutto può agevolare la colorazione delle superfici.

Studi precedenti, condotti in laboratorio [8] o con l'ausilio della realtà virtuale [9] [10], hanno ampiamente dimostrato l'influenza del colore sulla capacità di orientamento dell'essere umano: in ciascun esperimento è stato evidenziato come il riconoscimento della spazialità di un ambiente sia facilitato da connotazioni colorate rispetto alle situazioni in cui tale connotazione è assente. In particolare, Aoki et al. [11], hanno indagato l'effetto dell'arredamento sull'orientamento umano in uno spazio virtuale che riproduce le caratteristiche tipiche di una stazione spaziale con moduli connessi tra loro in varie direzioni, dimostrando che l'uomo perde l'orientamento muovendosi in uno spazio tridimensionale totalmente vuoto ed uniforme, mentre si orienta correttamente quando le superfici assumono colorazioni differenti.

L'uso del colore negli ambienti interni è inoltre un ottimo espediente per combattere i problemi psicologici che si verificano durante lunghi periodi di confinamento [12] [13] come le missioni spaziali odierne ed ancor di più lo saranno le future [14]: l'inserimento elementi colorati rompe la monotonia di un ambiente perché aumenta gli stimoli sensoriali [15], diminuendo così i momenti di noia che l'isolamento può generare negli astronauti e migliorando l'umore dell'intero equipaggio e



con esso i rapporti interpersonali[16]. Ricerche psicologiche hanno anche stabilito che il colore, oltre a migliorare lo stato d'animo delle persone, aumenta le performance cognitive che l'isolamento porta a diminuire [17] [18]: la presenza del colore aumenta l'organizzazione e diminuisce il tempo di ricerca, facilita l'identificazione e l'organizzazione delle informazioni, ma soprattutto accelera l'attività decisionale [19].

## 2. L'USO DEL COLORE NELLA STORIA DELLE STAZIONI SPAZIALI

La fisionomia dello spazio interno degli ambienti spaziali ha subito profonde trasformazioni dall'inizio dell'era spaziale [20]. I primi veicoli, costruiti tra la fine degli anni '50 e gli anni '60, erano navicelle spaziali con dimensioni molto ridotte perché progettate per missioni di breve durata: gli astronauti erano ospitati in piccole capsule fornite esclusivamente dell'equipaggiamento strettamente necessario alla missione e alla sopravvivenza ma privi di qualsiasi comfort [21]. Quando negli anni '70 gli ambienti spaziali diventano laboratori di ricerca, l'abitabilità diventa un elemento di grande interesse perché gli astronauti soggiorneranno al loro interno per un lungo periodo; a questo cambio di funzione è associato sia un aumento delle dimensioni sia una modifica del layout dovuto all'introduzione di apparecchiature di ricerca e di spazi per il soggiorno dell'equipaggio. Il design dello spazio interno è un elemento innovativo presente sia nelle Stazioni Spaziali Statunitensi che Sovietiche: gli interni dello Skylab [22], disegnati dall'architetto Raymond Loewy, comprendevano una zona living dove gli astronauti potevano trascorrere il tempo libero e mangiare assieme, dotata di un tavolo triangolare attorno al quale riunirsi ed un oblò dal quale osservare la Terra; il design della famiglia di stazioni Salyut prima e della Mir poi [23], è incentrato sulla separazione degli ambienti tra area di lavoro, soggiorno, zona pranzo, cabine private e sulla differenziazione tra pavimento, soffitto e pareti laterali tramite l'uso di differenti colori per ciascuna superficie. In questa "prima generazione" di Stazioni Spaziali l'asse verticale di orientamento è definito dall'arredamento interno, che essendo concepito come quello terrestre, caratterizza l'ambiente con oggetti che comunemente siamo abituati a trovare in un interno domestico o lavorativo; le stazioni sovietiche enfatizzano maggiormente l'orientamento caratterizzando col colore delle pareti la direzionalità verticale.

La Stazione Spaziale Internazionale (ISS), assemblata in orbita a partire dal 1998 per aggiunta successiva di moduli, vanta una



eterogeneità nella fisionomia degli interni, dovuta sia alla differente funzione dei moduli che alla differente concezione della nazionalità di provenienza: i primi moduli lanciati in orbita, *Zarya e Zvezda*, sono di tecnologia Russa ed hanno una funzione rispettivamente di cargo e di soggiorno, mentre i successivi sono nodi collegamento (*Unity, Harmony, Tranquility*) o laboratori di ricerca (*Destiny, Columbus, Kibo*) di fabbricazione Statunitense Europea e Giapponese. I moduli Russi (Figura 1) hanno ereditato la concezione spaziale delle precedenti stazioni sovietiche, con una particolare attenzione al comfort interno, all'abitabilità degli spazi, e all'orientamento degli astronauti: ancora una volta per facilitare la direzionalità dei moduli le superfici interne sono state colorate diversamente (soffitto bianco, pavimento marrone, pareti verdi) [24].

I nodi (Figura 2) ed i laboratori hanno una configurazione asettica, con interni completamente bianchi da cui spiccano gli agganci di colore blu anodizzato [25], e una concezione modulare che suddivide le superfici in armadi di dimensioni standard dove sono alloggiati gli strumenti di ricerca: l'indifferenza tra le pareti interne di questi moduli permette agli astronauti di lavorare su qualsiasi superficie,

Figura 1 - Interno del modulo Zvezda. Foto pubblicata nel sito ufficiale della NASA [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

Figura 2 - Interno del nodo 2 Harmony. Foto pubblicata nel sito dell'ASI [www.asi.it](http://www.asi.it)

anche pavimento o soffitto, e di disporsi a loro piacimento, anche a testa in giù o in orizzontale perché nessuna direzionalità prevalente è imposta e l'asse verticale può essere individuato unicamente facendo riferimento alla posizione delle sorgenti luminose; inoltre la concezione modulare implementa il grado di libertà perché permette agli astronauti di disporre a proprio piacimento gli oggetti, direzionandoli nel modo di volta in volta più comodo. Questo tipo di concezione dello spazio interno, pur essendo molto funzionale dal punto di vista operativo, è poco confortevole per chi deve vivere al suo interno alcuni mesi: lo spazio diventa labirintico per l'essere umano che si è evoluto orientandosi in funzione della gravità terrestre, perché la totale uniformità è causa di perdita di orientamento.

Molte sono state le proposte di aumentare il grado di abitabilità e di comfort dello spazio interno delle Stazioni Spaziali ponendo maggiore attenzione alle esigenze di chi vive (e non solo opera) al suo interno [26] [27] [28] [29] rispetto agli standard prefissati astrattamente dalle agenzie spaziali [30]: una delle indicazioni più ricorrenti è quella di fare uso del colore al fine di rendere l'ambiente meno monotono ma soprattutto per agevolare l'interazione dell'essere umano con l'ambiente facilitandone i movimenti e gli spostamenti all'interno del modulo o da un modulo all'altro.

Il presente lavoro si propone di analizzare le possibili soluzioni adottabili per facilitare l'orientamento dell'essere umano in uno spazio extra-atmosferico come la Stazione Spaziale Internazionale dove la gravità è assente: come mezzo di indagine si è utilizzato un ipotetico ambiente tridimensionale progettato e modellato come un prototipo di modulo abitativo

### 3. IL PROGETTO DEL COLORE DI UN MODULO SPAZIALE

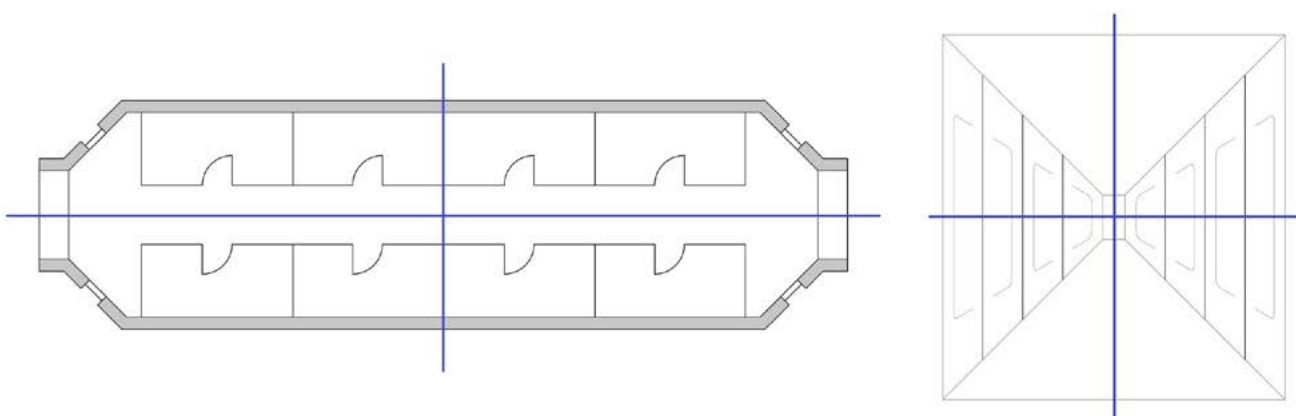
Il modello utilizzato per lo studio è un piccolo habitat contenuto all'interno di un cilindro del diametro di 3,85 m e lungo 13,65 m che accoglie gli alloggi personali per gli astronauti: il modulo ha una distribuzione secondo l'asse

longitudinale, con due elementi di accesso posti in corrispondenza delle circonferenze terminali, ed un corridoio centrale a sezione rettangolare che si snoda per tutta la lunghezza del cilindro, sul quale si aprono le porte dei singoli scompartimenti, quattro per ogni lato [31].

Lo spazio interno ha una configurazione simile ai moduli di fabbricazione Statunitense caratterizzato dalla ripetitività degli elementi e con due assi di simmetria, uno longitudinale ed uno trasversale, che tagliano l'ambiente in due parti speculari (figura 3): senza dare alcuna connotazione agli elementi che caratterizzano il corridoio centrale, ma lasciando tutte le pareti bianche con maniglie ed agganci blu, secondo le prescrizioni della Nasa, lo spazio diventa un labirinto all'interno del quale non è possibile capire quale sia il corretto orientamento verticale relativo. Con una simile configurazione, entrando nel modulo, gli astronauti si trovano senza punti di riferimento e non possono distinguere il soffitto dal pavimento, né gli scomparti localizzati a destra da quelli a sinistra e quindi non sono in grado di dirigersi con certezza verso il proprio alloggio. Similmente, in caso di pericolo che richieda l'evacuazione verso una direzione precisa, l'equipaggio avrebbe difficoltà a dirigersi verso l'uscita corretta.

Una possibile soluzione adottabile è quella di utilizzare delle indicazioni scritte: per l'orientamento spaziale si dovrebbero utilizzare diciture quali "up", "down", "right", "left", "front", "back", e per il riconoscimento della cabina un numero o il nome di ciascun astronauta posto sulla porta relativa. Tale metodo presenta però delle criticità che non lo rendono ottimale perché la leggibilità delle scritte non è immediata, anzi risulta difficoltosa se queste sono posizionate sottosopra o lateralmente rispetto all'osservatore o se troppo piccole. Una precedente ricerca [32] ha dimostrato che l'utilizzo di indicazioni scritte contenute all'interno di riquadri colorati rende più facile e veloce l'orientamento degli astronauti rispetto a quanto avvenga in un modulo senza scritte; la stessa ricerca ha rilevato come la tipologia di interni Russi siano più funzionali all'attività

Figura 4 - Modulo di studio con assi di simmetria: pianta e prospettiva



di orientamento rispetto a quelli Americani ed Europei, perché un maggior numero di soggetti riesce a posizionarsi correttamente rispetto all'orientamento del modulo e soprattutto in minor tempo.

È dunque una buona strategia applicare la concezione Russa sullo spazio interno al modulo abitativo sperimentale, soprattutto per ciò che attiene l'uso dei colori per caratterizzare le superfici.

Nella scelta della tinta da abbinare alle pareti è bene fare riferimento a quelle comunemente utilizzate sulla Terra, quindi colorazioni scure ( $Rho < 0,3$ ) per il pavimento, molto chiare per il soffitto ( $Rho > 0,8$ ) e pastello ( $Rho \approx 0,65$ ), tenendo però presente che in un ambiente spaziale la percezione del colore cambia per effetto della microgravità: è stato dimostrato che la sensibilità dell'occhio umano aumenta alle lunghezze d'onda corte e diminuisce alle lunghezze d'onda lunghe, che il giallo è percepito più saturo e che la luminosità diminuisce [33].

Le colorazioni più appropriate sono risultate il marrone (S 3040-Y40R) per il pavimento, bianco panna (S 0505-Y10R) per il soffitto, verde (S 0540-G30Y) e celeste (S 0520-B10G) per le pareti laterali: la rappresentazione grafica dei colori indicati con la rispettiva catalogazione nel sistema Natural Color System (NCS) [34] è mostrata in figura 4.

Le tinte sono state scelte tenendo in considerazione la funzione abitativa del modulo e dunque con la finalità soddisfare la connessa necessità di rendere l'ambiente rilassante e confortevole: il marrone della pavimentazione crea un rimando al legno, un materiale legato al calore e all'intimità della casa, che usualmente viene utilizzato negli interni domestici per la superficie di calpestio; il celeste ed il verde sono entrambe tinte fredde, che generano uno stato di tranquillità nell'essere umano e dunque adatte ad un ambiente di riposo, mentre il bianco è una colorazione neutra che non ha effetti sullo stato d'animo e normalmente viene utilizzata per il soffitto. Il marrone, il verde ed il celeste sono i tre colori maggiormente presenti nella natura, che l'essere umano è abituato ad osservare quotidianamente; la loro presenza negli interni spaziali fornisce agli astronauti una stimolazione

sensoriale che normalmente proviene dall'ambiente esterno terrestre, altrimenti non presente nello Spazio. Lo stimolo proveniente dal colore ha effetti psicologici che producono risvolti positivi sul soggiorno spaziale: oltre a migliorare l'umore, i colori aiutano a contrastare la sensazione di isolamento e lontananza che gli astronauti provano, soprattutto nelle missioni di lunga durata.

Applicando una colorazione uniforme alle pareti laterali non è però possibile identificare con immediatezza ciascuno scompartimento: una possibile soluzione è quella di assegnare a ciascuno di essi una differente gradazione del colore della parete, ad esempio cambiandone la saturazione.

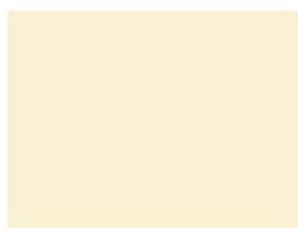
Una soluzione altresì efficace per caratterizzare la porta delle cabine personali è quella di posizionare su ciascuna di esse una figura differente, come può essere un elemento geometrico, o un simbolo universalmente noto, ma comunque molto semplice in modo da poter essere riconosciuto da qualunque prospettiva; la tecnica di affiancare segni grafici elementari ai colori nella segnaletica è stata studiata come mezzo efficace in alcuni contesti pubblici dove l'uso del solo colore risulta limitante [35]. Esempi di figure adatte possono essere un triangolo, un cerchio, o una stella; utilizzando del velcro le figure possono essere facilmente attaccate e staccate dalla superficie cosicché ogni singolo astronauta possa scegliere la propria figura da apporre sulla porta della sua cabina, in modo da personalizzarla ed aumentare così il senso di appartenenza. Per poter apparire efficacemente rispetto al colore della parete, la figura dovrà avere una colorazione che produca un forte effetto di contrasto con lo sfondo: il bianco sembra una scelta idonea e sobria perché non aggiunge una ulteriore tinta in una stanza già carica di colore. Per poter essere identificati con immediatezza in una stanza colorata, ugualmente bianchi dovranno essere gli agganci e le maniglie che servono agli astronauti per spostarsi ed ancorarsi ed i giunti di connessione tra i moduli.

La gradazione di colore delle pareti laterali è stato invece indicato come uno strumento utile per enfatizzare la direzionalità verticale del

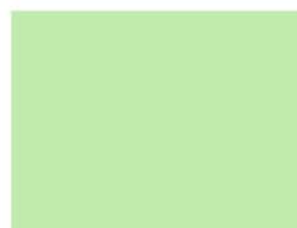
Figura 4 - Le colorazioni nel sistema NCS



S 3040-Y40R



S 0505-Y10R



S 0540-G30Y



S 0520-B10G

modulo [26]: passare da una saturazione minore a contatto col pavimento ad una saturazione sempre maggiore per giungere a livelli di luminanza sempre crescenti a contatto col soffitto è certamente una soluzione utile per facilitare maggiormente il corretto posizionamento degli astronauti all'interno del modulo.

Tale metodologia di progettazione produce le finalità sopra descritte anche in un interno in cui è presente un basso livello di illuminamento, perché i colori indicati possono essere distinti dall'occhio umano anche con i 50 lux che sono normalmente presenti negli interni della ISS.

#### 4. CONCLUSIONI

Il colore è diventata un'esigenza irrinunciabile per la progettazione delle future Stazioni Spaziali perché svolge un ruolo centrale ed imprescindibile all'interno degli habitat extra-atmosferici migliorando il grado di comfort e di abitabilità rispetto ai moduli attuali.

Con il presente studio si è voluto produrre un primo esempio di come potrebbero essere i futuri moduli spaziali se progettati utilizzando il colore in modo utile alle esigenze di chi fruisce dello spazio e finalizzato all'obiettivo di semplificare gli spostamenti ed i movimenti all'interno dell'ambiente. La progettazione di una intera Stazione Spaziale richiede la necessità di affrontare di volta in volta la definizione di ciascun modulo o di ciascun ambiente ed in funzione delle caratteristiche specifiche studiare la soluzione più corretta, soprattutto per risolvere le singole particolarità che ogni tipologia di modulo presenta.

L'obiettivo del presente studio è stato quello di indicare un modello progettuale, delle linee guida che indirizzano verso una corretta progettazione di habitat Spaziali per mezzo del colore:

- caratterizzare ogni superficie non un colore differente, scegliendo una tinta appropriata;
- graduare la colorazione delle superfici verticali modulando la saturazione e la luminanza;
- evidenziare gli elementi rilevanti e di sicurezza in bianco.

Sarà possibile verificare l'efficacia della soluzione ipotizzata nella sua capacità di agevolare l'orientamento e l'individuazione degli scompartimenti testando la risposta dell'essere umano in un ambiente tridimensionale simulato con realtà virtuale, oppure applicando il progetto in uno dei moduli della ISS.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] M. D. Griffin, J. R. French, "Space Vehicle Design", AIAA Education Series, 2004.
- [2] J. R. Lackner, P. DiZio, "Human orientation and movement control in weightless and artificial gravity environments", *Exp Brain Res* (2000), 130, p. 2 - 26.
- [3] G. Clément, A. Pavy-Le Traon, "Centrifugation as a countermeasure during actual and simulated microgravity: a review", *Eur J Appl Physiol* (2004), 92, p. 235 - 248.
- [4] M. F. Resche, L. N. Kornilova, D. L. Harm, J. J. Bloomberg, W. H. Paloski, "Neurosensory and sensory-motor function, *Space Biology and Medicine* (1996), vol. 3 *Humans in Spaceflight*.
- [5] C. M. Oman, "Human visual orientation in weightlessness", *York Conference* 2001.
- [6] J. B. F. van Erp, H. A. H. C. van Veen, M. Ruijsendaal, "More than a feeling: bringing touch into astronauts' spatial orientation", *Microgravity sci. technol.* (2007), XIX - 5/6, p. 108 - 112.
- [7] C. M. Oman, W. L. Shebilske, J. T. Richards, T. C. Tubré, A. C. Beall, A. Natapoff, "Three dimensional spatial memory and learning in real and virtual environments", *Spatial Cognition and Computation* (2000), 2, p. 355 - 372.
- [8] L. Hermer, E. Spelke, "Modularity and development: the case of spatial reorientation", *Cognition* (1996), 61, p. 195 - 232.
- [9] D. M. Kelly, W. F. Bischof, "Reorienting in images of a three-dimensional environment", *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* (2005), 31, 6, p. 1391 - 1403.
- [10] B. R. Sturz, D.M. Kelly, "Environment size and the use of feature and geometric cues for reorientation", *Acta Psychologica* (2013), 142, p. 251 - 258.
- [11] H. Aoki, R. Ohno, T. Yamaguchi, "The effect of the configuration and the interior design of a virtual weightless space station on human spatial orientation", *Acta Astronautica* (2005), 56, p. 1005 - 1016.
- [12] A. A. Harrison, Y. A. Clearwater, C. P. McKay, "The human experience in Antarctica: application to life in Space", *Behavioral Science* (1989), 34:4, p. 253 -271.
- [13] K. Binsted, R. L. Kobrick, M. O. Griofa, S. Bishop, J. Lapierre, "Human factor research as a part of a Mars exploration analogue mission on Devon Island", *Planetary and Space Science* (2010), 58, p. 994 - 1006.
- [14] D. Manzey, "Human mission to Mars: new psychological challenges and research issues", *Acta Astronautica* (2004), 55, p. 781 - 790.
- [15] R. Peldsz, H. Dalke, S. Pretlove, C. Welch, "The perfect boring situation - in view Of designing onboard countermeasures to monotony & isolation during transfer stages of extended exploration missions", *62nd International Astronautical Congress* (2011), E5.1.5.
- [16] N. Kanas, "Psychosocial issue affecting crews during long-duration space missions", *Acta Astronautica* (1998), 42, p. 339 - 361.
- [17] G. G. De La Torre, B. van Baarsen, F. Ferlazzo, N. Kanas, K. Weiss, S. Schneider, I. Whiteley, "Future perspectives on space psychology: Recommendations on psychosocial



and neurobehavioural aspects of human spaceflight”, *Acta Astronautica* (2012), 81, p. 587 - 599.

[18] E. Öztürk, S. Yilmazer, S. E. Ural, “The effects of Achromatic and Chromatic Color Schemes on Participant’s Task Performance in and Appraisals of an Office Environment”, *Color Research and Application* (2012), 37, p. 359 - 366.

[19] R. Kumi, C. M. Conway, M. Limayem, S. Goyal, “Learning in Color: How Color and Affect Influence Learning Outcomes”, *IEEE Transaction on professional communication* (2013), 56, p. 2 - 14.

[20] G. H. Kitmacher, “Design of the Space Station Habitable Modules”, 53rd International Astronautical Congress (2002), p. 1 - 17.

[21] S. Mohanty, J. Jørgensen, M. Nyström, “Psychological Factors Associated with Habitat Design for Planetary Mission Simulators”, *AIAA 2006-7345*, p. 1 - 12.

[22] W. D. Compton, C. D. Benson, “Living and working in Space: a History of Skylab”, *Scientific and Technical Information Branch NASA* (1983).

[23] B. J. Bluth, M. Helppie, “Soviet Space Stations As Analogs”, *Nasa Grant Nagw-659* (1987).

[24] I. L. Schlacht, H. Birke, “Space design. Visual interface of space habitats”, *Pers Ubiquit Comput* (2011), 15, p. 497 - 509.

[25] NASA, “International Space Station Program. International Space Station Color Scheme”, *SSP50008 Revision C* (2011).

[26] R. G. Coss, Y. A. Clearwater, C. G. Barbour, S. R. Towers, “Functional Decor in The International Space Station: Body Orientation Cues and Picture Perception”, *NASA Technical Memorandum 102242* (1989).

[27] J. Wise, “The Quantitative Modelling of Human Spatial Habitability”, *NASA Contractor Report 17750* (1988).

[28] S. Häuplik-Meusburger, “My Home is my Spaceship. An Investigation of Extra-Terrestrial Architecture from a Human Perspective”, 40th International Conference on Environmental System, *AIAA* (2010).

[29] M. M. Cohen, “Space Habitat Design Integration Issue”, 28th International Conference on Environmental System (1998).

[30] NASA, “Human Integration Design Handbook”, *SP-2010-3407 20546-0001* (2010).

[31] C. Burattini, F. Gugliermetti, F. Bisegna, M. Marchetti, “A new conceptual design approach for habitative space modules”, *Acta Astronautica*, vol. 97, 2014.

[32] I. L. Schlacht, M. Rötting, M. Masali, M. Micheletti Cremasco, A. Ono, “Space station visual design for the astronauts reliability”, 60th International Astronautical Congress (2009), *IAC-09.B3.2.9*.

[33] I. L. Schlacht, S. Brambillasca, H. Birke, “Color Perception in Microgravity Conditions: The Results of CROMOS Parabolic Flight Experiment”, *Microgravity Sci. Technol.* (2009), 21, p. 21 - 30.

[34] [www.ncscolor.com](http://www.ncscolor.com)

[35] G. Bertagna, A. Bottoli, “Colori, segni, convenzioni e daltonici”, *Cultura e Scienza del Colore – Color Culture and Science* (2014), 01, p. 13 - 15.

# Metodologie per lo studio di miscele di pigmenti pittorici con spettrometria a fibra ottica

<sup>1</sup>Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Milano  
<sup>2</sup>ICVBC, CNR Milano

## 1. INTRODUZIONE

La tecnica della spettroscopia in riflettanza a fibre ottiche (FORS) con sonda a sfera integratrice consente in modo totalmente non invasivo di ottenere spettri del fattore di riflessione spettrale (nel seguito Riflettanza) nell'intervallo spettrale UV-Vis-NIR (200 nm - 2000 nm a seconda del tipo di rivelatore impiegato) per il riconoscimento di pigmenti pittorici. Nel caso di mescolanze di pigmenti, un database di riflettanze di pigmenti puri non consente un sicuro ed immediato riconoscimento dei pigmenti presenti nella miscela.

In questo lavoro viene presentato un metodo per determinare con ottima approssimazione, a partire dalla misura dello spettro di riflettanza, i coefficienti di scattering S e di assorbimento K del modello di Kubelka-Munk per i pigmenti [1-3]. L'equazione di Kubelka-Munk viene applicata sia alla riflettanza di uno strato di spessore coprente di un pigmento puro, sia alla riflettanza di una mescolanza di pigmento con un pigmento bianco. In questo modo si ottiene un sistema di due equazioni nelle incognite K ed S risolvibile a meno di un coefficiente arbitrariamente posto pari a 1.

I coefficienti K e S così ottenuti, caratteristici dei diversi pigmenti, vengono quindi raccolti in un database mediante il quale è possibile, in linea di principio, studiare il caso di mescolanze di diversi pigmenti in stesure pittoriche. Le concentrazioni dei diversi pigmenti, in questo

caso, non sono facilmente ottenibili se non con tecniche analitiche da laboratorio che richiedono il prelievo di un campione [4].

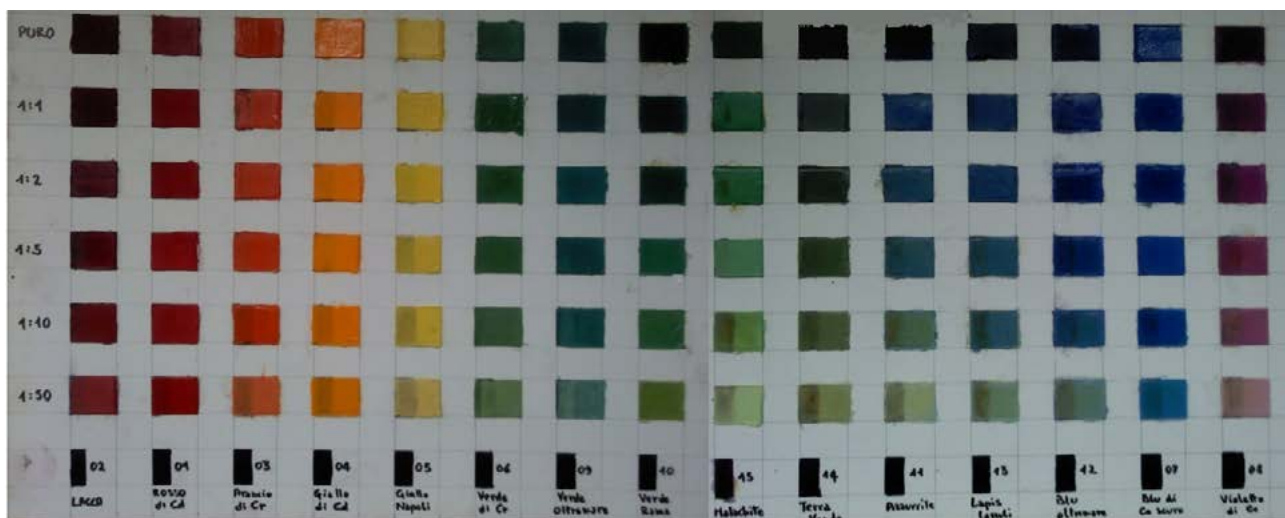
La ricostruzione dello spettro di riflettanza a partire dai coefficienti K ed S permette in primo luogo di prevedere a livello qualitativo i tratti caratteristici dello spettro della miscela [5]. Questo procedimento si è rivelato efficace soprattutto per mescolanze binarie di un pigmento giallo con uno rosso ad ottenere una tinta arancione e per mescolanze di un pigmento blu ed uno giallo ad ottenere una tinta verde.

L'ulteriore passo è la determinazione delle concentrazioni dei due pigmenti presenti nella miscela binaria a partire dallo spettro di riflettanza misurato e dai coefficienti  $K(\lambda)$  e  $S(\lambda)$  ottenuti per i singoli pigmenti.

Dal punto di vista sperimentale lo studio è stato condotto su 17 pigmenti tra quelli più comunemente impiegati in ambito storico-artistico nell'età moderna e contemporanea: Rosso di Cadmio, Lacca rossa di Garanza, Cinabro, Arancio di Cromo, Giallo di Cadmio, Giallo Napoli, Giallo di Zinco, Verde di Cromo, Verde Oltremare, Verde Rame, Terra verde, Malachite, Azzurrite, Blu di Cobalto, Blu oltremare naturale (Lapislazzuli), Blu oltremare artificiale, Violetto di Cobalto [Figura 1].

Questi pigmenti sono già stati studiati con tecniche analitiche non invasive per determinarne la possibilità di riconoscimento quando si presentano, puri, in strati sovrapposti [6].

Figura 1



## 2. MODELLO TEORICO

Il modello di Kubelka-Munk [1] considera mezzi omogenei di spessore finito  $h$  composti da particelle e assume che la radiazione interagente con ciascuna particella subisca diffusione nella stessa direzione della radiazione incidente (modello unidimensionale). A partire dalla definizione di due coefficienti fondamentali (coefficiente di diffusione o di scattering  $S$  e coefficiente di assorbimento  $K$ ) il modello determina l'intensità emergente dallo strato nello stesso verso di quella incidente e quella retrodiffusa. Se sotto lo spessore  $h$  dello strato è presente un fondo bianco (nel contesto della pittura è identificabile con la preparazione) tale fondo riflette indietro la radiazione fin lì giunta, che interagisce nuovamente con le particelle dello strato fino a riemergere. Quando lo spessore è sufficientemente grande (hiding thickness) l'intensità diffusa nel complesso dallo strato del campione non risente delle caratteristiche del fondo, in quanto tutta la radiazione incidente è stata assorbita o retrodiffusa prima di raggiungere il fondo. In tale situazione rapporto tra intensità del fascio retrodiffuso e fascio incidente in tale condizione viene chiamata riflettanza  $R_\infty$  e vale:

$$(1.1) \quad R_\infty = 1 + \frac{K}{S} - \sqrt{\frac{K^2}{S^2} + 2 \frac{K}{S}}$$

dalla quale è possibile ricavare il valore del rapporto  $K/S$ , ma non i singoli  $K$  e  $S$  in modo indipendente.  $K(\lambda)$ ,  $S(\lambda)$  e  $R_\infty(\lambda)$  sono funzione della lunghezza d'onda, ma per brevità, non è riportato nella trattazione che segue.

Nel caso di mescolanze di  $n$  pigmenti in concentrazioni  $c_i$  note,  $K$  ed  $S$  sono ottenuti come somma pesata sulle concentrazioni di ciascun pigmento, per cui il rapporto  $K/S(\lambda)$  assume la forma:

$$(1.2) \quad \frac{K}{S} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \cdot K_i}{\sum_{i=1}^n c_i \cdot S_i}$$

Per poter correlare la forma dello spettro di riflettanza con il tipo di pigmento impiegato è necessario conoscere i coefficienti di scattering ed assorbimento indipendentemente. Sono già stati proposti diversi metodi per determinare queste variabili sperimentalmente, ma nel caso dell'applicazione ai pigmenti dei dipinti risultano poco appropriati per la complessità intrinseca costitutiva dello strato pittorico reale. Ad esempio è possibile il calcolo di  $K$  ed  $S$  a partire dallo spettro di vernici stese con spessore ben determinato (che di certo non si confà al caso

della pittura) o mediante una serie di calcoli riferiti a sottili stesure di pigmento sovrapposte l'una all'altra [2]. Viene qui proposto un semplice metodo che si basa sull'utilizzo di campioni ottenuti da mescolanze omogenee di pigmento puro con il solfato di bario usato come pigmento bianco.

Dalla 1.1 si ricava direttamente il rapporto  $K/S$  (che per brevità indichiamo con  $r_p$ ) in funzione del valore del fattore di riflessione spettrale per ogni lunghezza d'onda:

$$(1.3) \quad r_p = \frac{K_p}{S_p} = \frac{(1 - R_\infty)^2}{2R_\infty}$$

Poiché il modello di Kubelka-Munk porta ad avere due incognite  $K(\lambda)$  e  $S(\lambda)$ , sono necessarie due equazioni linearmente indipendenti. Qualsiasi misura su un pigmento steso con spessore superiore all'hiding thickness porta alla stessa descrizione matematica, e quindi allo stesso rapporto riportato nella formula 1.3. Se invece si effettua una misura su una stesura di due pigmenti in mescolanza (per convenienza quello in esame con concentrazione  $c_p$  ed un pigmento bianco con concentrazione necessariamente  $1 - c_p$ ) vale sia la formula 1.2 che la 1.3 riferita alla mescolanza. Da tale uguaglianza si ricava la seguente:

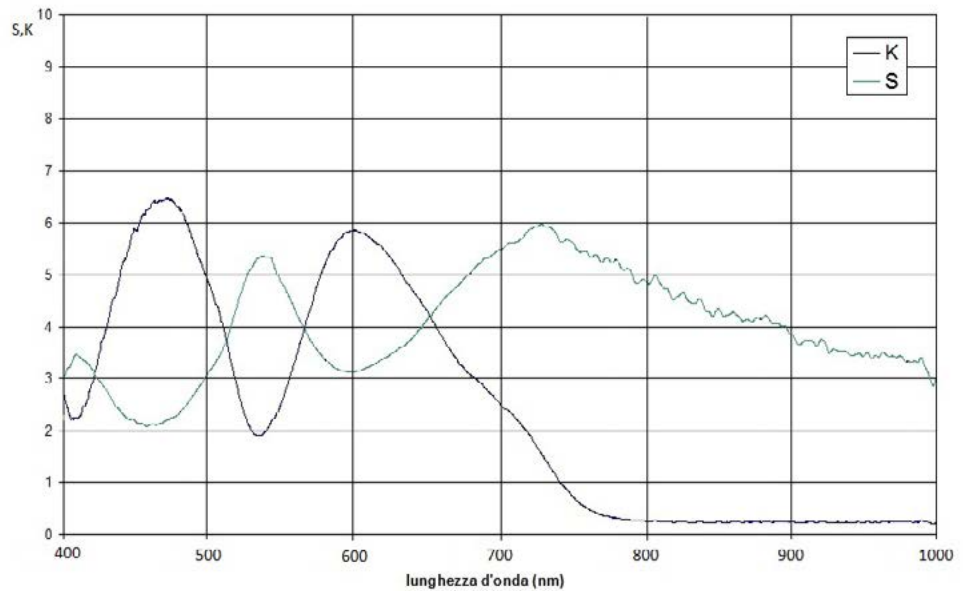
$$(1.4) \quad r = \left( \frac{K}{S} \right)_{misc} = \frac{(1 - R_{\infty, misc})^2}{2R_{\infty, misc}} = \frac{K_p c_p + (1 - c_p) K_W}{S_p c_p + (1 - c_p) S_W}$$

dove il pedice  $W$  indica il secondo pigmento, mentre il pedice  $p$  il pigmento in esame. Una scelta opportuna di secondo pigmento è il bianco di Bario, il quale è caratterizzato da un fattore di riflessione spettrale costante e prossimo al 100%. Per questo pigmento è quindi ragionevole assumere un coefficiente di assorbimento  $K_W$  nullo e considerare il coefficiente di scattering  $S_W$  come costante in funzione della lunghezza d'onda almeno nella regione Vis-NIR (ossia nell'intervallo delle misure effettuate). Con queste ipotesi, risolvendo il sistema contenente le formule 1.3 e 1.4 si ottengono le seguenti:

$$(1.5) \quad S_p(\lambda) = \frac{r}{r_p - r} \cdot \frac{1 - c_p}{c_p} \cdot S_W$$

$$K_p(\lambda) = \frac{r \cdot r_p}{r_p - r} \cdot \frac{1 - c_p}{c_p} \cdot S_W$$

Figura 2 - Verde Ossido di Cromo



che consentono di ricavare i coefficienti di scattering e di assorbimento separatamente misurando  $r_p$  e utilizzando  $c_p$  note. Rimane da determinare a priori il coefficiente di scattering del bianco utilizzato, che può altresì essere posto in modo arbitrario pari a 1. In Figura 2 è mostrato il caso del verde di ossido di Cromo, ma ovviamente questo metodo può essere applicato a qualsiasi pigmento. Una volta determinati i coefficienti  $K(\lambda)$  e  $S(\lambda)$  di diversi pigmenti attraverso la 1.2 si può risalire al rapporto K/S della miscela e da questa mediante la 1.1 allo spettro di riflettanza.

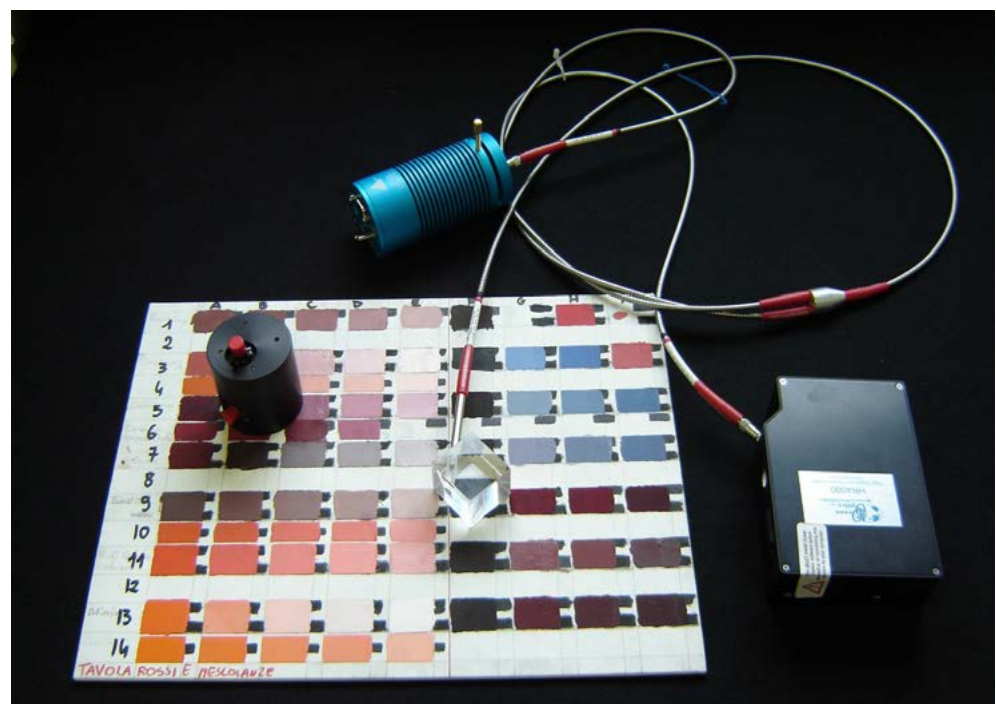
### 3. MATERIALI E METODI

L'apparato strumentale è costituito da uno spettrofotometro (HR4000, OceanOptics®,

Figura 3) con sorgente a lampada alogena (con aggiunto un filtro ciano per attenuare le intensità del picco di emissione, a circa 600 nm, e migliorare quindi il rapporto segnale-rumore nella zona spettrale del blu). La lampada è collegata tramite fibra ottica ad una sonda a sfera integratrice (geometria 8°/d). La radiazione raccolta dalla sonda viene condotta tramite un'altra fibra ottica allo spettrofotometro a reticolo, il quale campiona lunghezze d'onda con una risoluzione effettiva di 2,7 nm tra i 200 e i 1100 nm.

Per un breve periodo è stato disponibile presso il laboratorio uno spettrofotometro a reticolo e fibra ottica ma equipaggiato con un array di elementi InGaAs (sensibili fino a 1700nm). Le misure su questo range esteso (Figura 4 e Figura 5) hanno permesso per alcuni campioni di ottenere per la

Figura 3





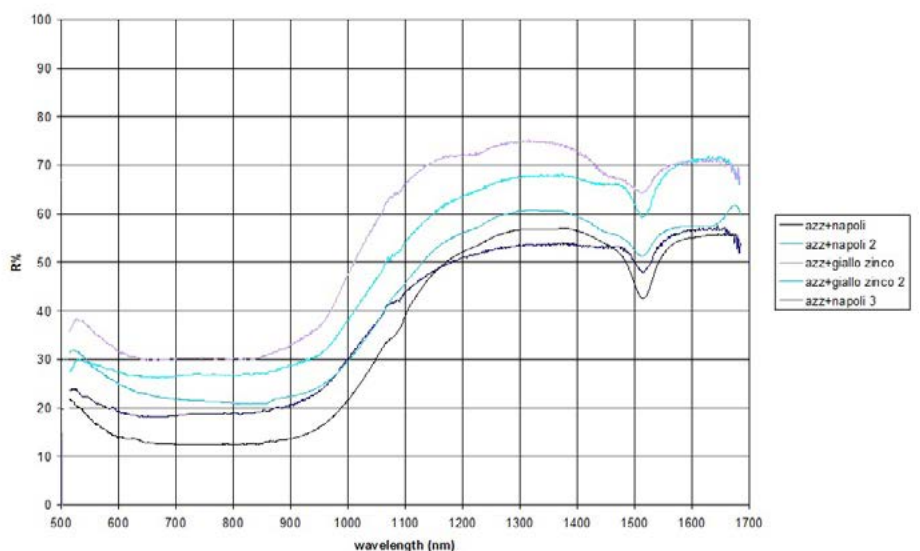


Figura 4

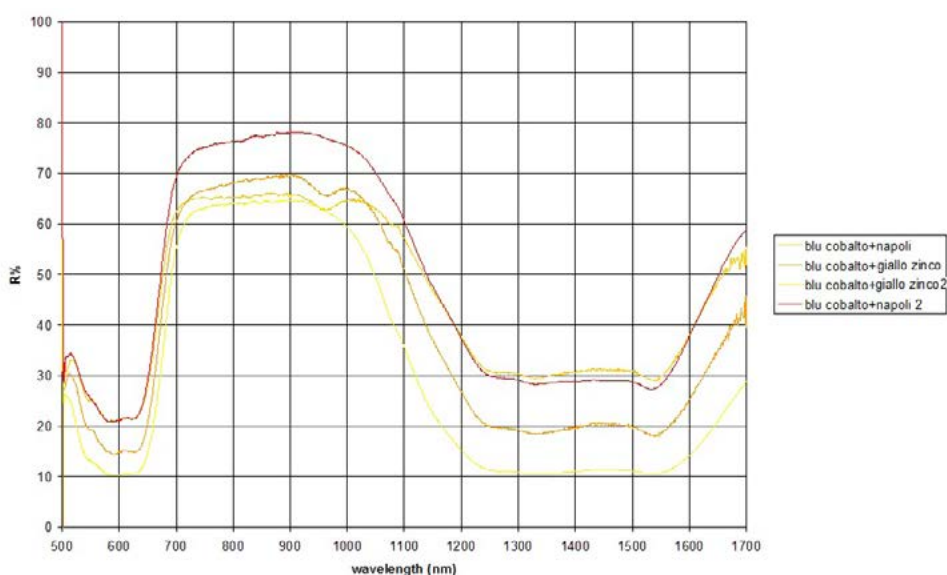


Figura 5

porzione di spettro sovrapposto (500 nm - 1000 nm) un confronto interstrumentale e di valutare l'andamento delle funzioni K ed S al crescere della lunghezza d'onda [10].

Il grafico del fattore di riflessione spettrale usato per la determinazione di K ed S è il risultato di una media di 10 spettri, filtrato con passo di 5 nm.

Per i diversi pigmenti sono state ottenute 5 diverse concentrazioni in bianco così da poter confrontare i risultati di K ed S ottenuti a partire da coppie di campioni differenti. Le mescolanze sono state effettuate secondo la concentrazione in massa pigmento-bianco 1:50, 1:10, 1:5, 1:2, 1:1 oltre al pigmento puro, per 17 pigmenti: Rosso di Cadmio, Lacca rossa di Garanza, Cinabro, Arancio di Cromo, Giallo di Cadmio, Giallo Napoli, Giallo di Zinco, Verde di Cromo, Verde Oltremare, Verde Rame, Terra verde, Malachite, Azzurrite, Blu di Cobalto, Lapislazzuli, Blu oltremare artificiale, Violetto di Cobalto. Le mescolanze, rese visivamente omogenee, sono state stese in olio (e diluite in trementina

per facilitarne l'asciugatura uniforme) con una spatola per uno spessore superiore all'hiding thickness (Figura 1). Per ciascun campione sono stati misurati gli spettri in riflettanza in più punti della superficie.

#### 4. RISULTATI SPERIMENTALI

Applicando le formule 1.5 a ciascuno dei cinque spettri di miscele con il bianco associato allo spettro dello stesso pigmento puro, sono stati ottenuti cinque grafici di K ed S, che di norma si sono rivelati tra loro compatibili. In questo modo si è ottenuto lo spettro dei fattori K ed S riferiti a quello del bianco (posto pari ad 1). Tali spettri hanno sempre il medesimo andamento qualitativo, ma le irregolarità di superficie del campione, le variazioni di irraggiamento della Impada e il disallineamento sorgente-fibra (che comporta una diversa intensità incidente) possono portare a degli shift lungo l'asse del fattore di riflessione spettrale. Poiché il riconoscimento di un pigmento avviene mediante l'identificazione dei suoi massimi e minimi di riflettanza, questo shift non pregiudica

il riconoscimento; è però difficile l'analisi quantitativa.

Il database di  $K(\lambda)$  e  $S(\lambda)$  così ottenuto è stato testato su mescolanze di pigmenti rossi e blu (a formare i porpora), gialli e blu (per i verdi) [8] e gialli e rossi (per le tinte arancioni). I risultati ottenuti seguono bene i profili delle misure sperimentali sui campioni di mescolanze preparati in laboratorio, ma le concentrazioni inserite del modello danno uno spettro con valori sistematicamente inferiori rispetto alla misura sperimentale.

## 5. APPLICAZIONE A MISCELE BINARIE

Una volta costruito un database di valori di K ed S relativo a diversi pigmenti, è quindi possibile, in linea di principio, ricavare in modo analitico lo spettro di riflettanza di miscele di pigmenti. A titolo esemplificativo affrontiamo brevemente il caso di miscele con tinta risultante verde (mescola di pigmento blu e giallo).

I pigmenti selezionati in base alla varietà dei loro spettri di riflettanza sono i seguenti: giallo di Napoli, giallo di Zinco, Azzurrite e Blu di

Cobalto; le concentrazioni realizzate sono state differenziate a seconda dei pigmenti coinvolti nelle mescolanze, in modo da ottenere tinte ben diversificate e non troppo simili a quelle dei pigmenti puri coinvolti nella miscela (Figura 4 e Figura 5).

In Figura 6 sono riportati gli spettri di riflettanza elaborati a partire dai valori di K ed S calcolati con il metodo descritto nel paragrafo precedente e gli spettri osservati sulle stesure coprenti, nel caso di mescolanze di blu di Cobalto e Giallo di Napoli dalla risultante tinta verde.

Gli spettri di riflettanza misurati sui campioni in mescolanza ad una determinata concentrazione di pigmenti non coincidono con quelli ottenuti con la simulazione alla stessa concentrazione. Correggendo opportunamente la concentrazione usata nella simulazione i due spettri raggiungono un buon livello di sovrapposizione (Figura 7). Si può affermare quindi che qualitativamente la simulazione a partire dal database permette di ricostruire lo spettro della mescolanza, ma non fornisce dati quantitativi affidabili. Alcuni fattori di errore sono stati individuati: l'apparato risente notevolmente delle condizioni di superficie del

Figura 6

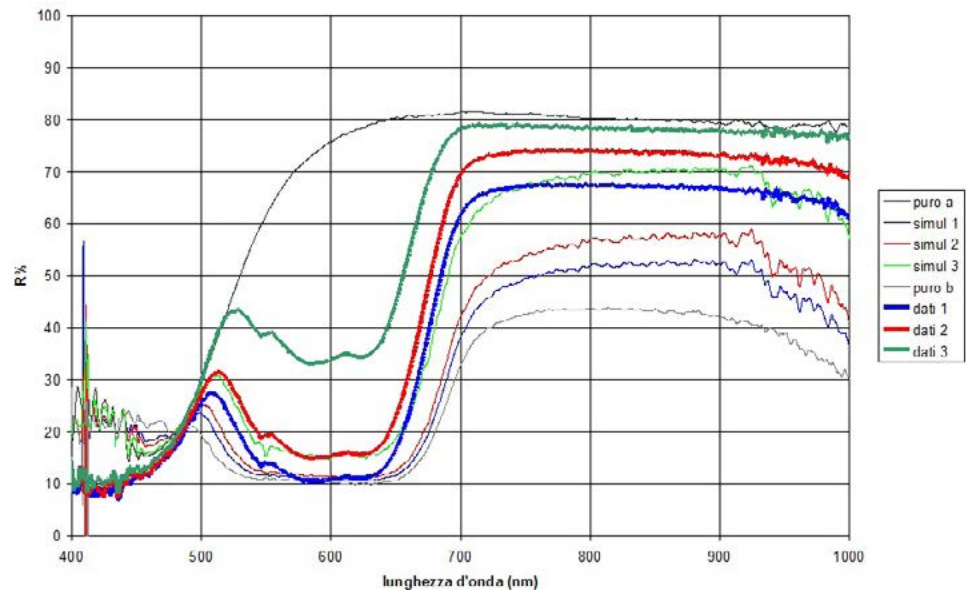
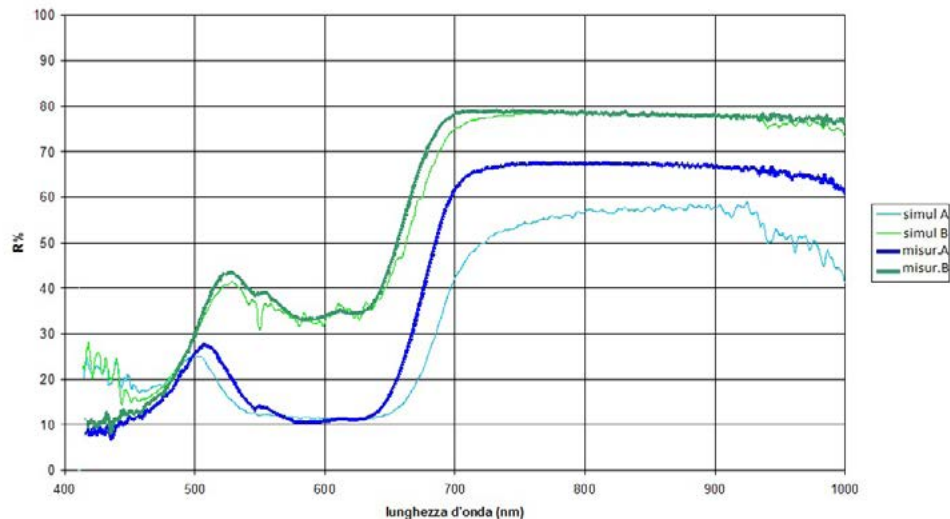


Figura 7



campioni (lucidità, regolarità, omogeneità), la presenza dell'olio nella stesura influenza la componente di radiazione riflessa nella direzione  $8^\circ$  di incidenza della sfera integratrice (e quindi persa dal sistema di raccolta della sfera integratrice). L'errore sulle misure quantitative potrebbe essere attribuito quindi più che ad una insufficienza del modello, ad errori sperimentali che non sono stati tenuti in conto a priori. Va osservato infine che il modello utilizza concentrazioni in peso delle singole componenti laddove l'influenza sull'assorbimento ottico nella miscela è legata a concentrazioni in volume, più complesse da valutare per materiali in polvere come i pigmenti che vengono dispersi in un legante in fase di utilizzo.

Sotto l'aspetto qualitativo il modello descritto ha avuto invece buoni riscontri nelle osservazioni sperimentali.

Nell'ambito di miscele dalla tinta risultante verde è interessante notare lo spostamento verso destra del massimo di riflettanza caratteristico del pigmento blu e della spalla della banda di assorbimento dovuta al giallo verso sinistra all'aumentare della concentrazione del giallo. Questo spostamento, previsto dalla simulazione, è verificato sperimentalmente. In generale la lunghezza d'onda corrispondente al massimo di riflettanza nella banda 450 nm – 550 nm consente il riconoscimento dei pigmenti blu presenti nella miscela, mentre il pigmento giallo è più difficilmente riconoscibile: in parte è identificabile dal comportamento degli spettri nel punto più alto della spalla nella banda 650 nm – 700 nm.

## 6. CONCLUSIONI

L'identificazione dei pigmenti presenti in una stesura di una miscela binaria è, a livello qualitativo, possibile una volta che sono stati ottenuti i grafici dei coefficienti di assorbimento  $K$  e di scattering  $S$  della teoria di Kubelka-Munk (a meno di un fattore di scala  $S_w$ ). Il riconoscimento dei pigmenti avviene sulla base del confronto dello spettro misurato della miscela con alcuni spettri significativi di miscele binarie di diversi pigmenti a diverse concentrazioni, come riportato, per esempio, in Figura 1. In primo luogo si delimita il campo di ricerca dei pigmenti a quelli che possono in mescolanza creare una tinta simile a quella osservata. In particolare per le miscele binarie senza bianco (impiegate in pittura dalla fine del Seicento in poi) si ricorre a miscele di pigmenti blu e gialli per ottenere alcune sfumature di verde e mescolanze di rossi e gialli per sfumature arancioni, mentre più raramente blu e rossi per ottenere tinte viola-magenta (che risultano solitamente molto scure). Confrontando gli

spettri di mescolanze binarie ottenuti mediante il metodo descritto nel paragrafo 4 con quello osservato sul campione è possibile risalire in maniera qualitativa alla coppia di pigmenti presenti. Allo stato attuale l'analisi quantitativa per valutare le concentrazioni dei due pigmenti presenti non è realizzabile con sufficiente precisione. A partire dai grafici delle mescolanze ottenibili dai valori di  $K(\lambda)$  e  $S(\lambda)$  dei pigmenti. I problemi che compromettono al momento una misura quantitativa più precisa sono l'instabilità dell'apparato di misura e l'irregolarità dei campioni pittorici da confrontare con gli spettri ricostruiti attraverso i coefficienti  $K(\lambda)$  e  $S(\lambda)$ .

## BIBLIOGRAFIA

[1] P. Kubelka, F. Munk: Ein Beitrag zur Optik der Farbanstriche. Zeitschrift für technische Physik 12 (1931), 593-601.

[2] L. Simonot, M. Elias, E. Charron – Special visual effect of art glazes explained by radiative transfert equation – Applied Opt. vol.43, 12, 2001 – 2580-2587

[3] G. Antonioli, A. Della Patria, F. Fermi, C. Oleari, S. Omarini, R. Pocolo, R. Reverberi – Proprietà della riflettanza spettrale secondo il modello Kubelka-Munk-Saunderson – Colore e colorimetria: contributi multidisciplinari vol. V. 2009 – pp. 245-253

[4] Baldelli P., Bonizzoni L., Gambaccini M., Gargano M., Ludwig L., Milazzo M., Pasetti L., Petrucci F., Prino F., Ramello L., Scotti M. - Application of the K-edge X-ray technique to map pigments of art paintings: Preliminary results, In: Il nuovo cimento della Società Italiana di Fisica. C, Geophysics and space physics. - ISSN 1124-1896. - 29 C:6(2006). - p. 663-672.

[5] D. Pandini – Studi per la modellizzazione della riflettanza spettrale negli strati pittorici, tesi di dottorato (2012)

[6] M. Bertucci, L. Bonizzoni, N. Ludwig, M. Milazzo – A new model for X-ray fluorescence autoabsorption analysis of pigment layers. In: X-ray spectrometry. - ISSN 0049-8246. - ISSN 1097-4539. - 39:2 (2010), pp. 135-141. doi: 10.1002/xrs.1216

[7] P. Kubelka: New Contribution of the Optics of Intensely Light-Scattering Materials. - 1948- Part I. JOSA A 38 (448-457)

[8] N. Ludwig, M. Gargano, A. Galli, A. Moneta – Identificazione di pigmenti con spettrofotometria Vis-NIR: il caso dei pigmenti verdi. in AScienza e Beni Culturali Atti V congresso AIAR. Morrone editore Siracusa 2008 ISBN 978-88-95936-11-6

[9] A. Moneta, N. Ludwig, G. Poldi, M. Gargano – Cambiamenti di colore in mescolanze con bianco. Uno studio su pigmenti antichi. Conferenza Nazionale Colore e Colorimetria, Quaderni di ottica e fotonica, Firenze, - 2005 - volume 13, pp.157-164

[10] M. Gargano, N. Ludwig, G. Poldi - A new methodology for comparing IR reflectographic systems, Infrared Physics & Technology, 49, 249–253, 2007.

A cura di  
Renata Pompas

## RECENSIONI

**Manlio Brusatin,  
Verde. Storie di un colore,  
Biblioteca Marsilio, Venezia, 2013**

**Michel Pastoureau,  
Verde. Storia di un colore,  
Adriano Salani Editore, Milano, 2013**

Il colore verde ha interessato due studiosi, Manlio Brusatin e Michel Pastoureau, che hanno scritto rispettivamente: *Verde. Storie di un colore* e *Verde. Storia di un colore*, ingaggiando una strana competizione in cui si sono misurati nei molteplici aspetti del colore più diffuso in natura.



**Manlio Brusatin**, architetto, storico dell'arte e docente, ha al suo attivo importanti pubblicazioni sul colore, come il fortunato *Storia dei colori* (1999) tradotto in più lingue. Il suo libro *Verde. Storie di un colore* è di 124 pagine (cm. 15,5 x 21,5), di cui 16 a colori (in verità impaginate veramente male), è composto da 6 capitoli, la bibliografia e l'indice dei nomi (€ 16,50). Nell'Introduzione leggiamo la sua dichiarazione d'intenti:

*"Non credo utile scrivere la storia di un solo colore, come è già stato fatto con sbalorditivo successo. Fare la Storia del blu come la Storia del Rosso o la Storia del Nero sono imprese possibili a chi le rende leggibili. Solo per non far sentire la mancanza di una storia del verde (in realtà già annunciata dal Pastoureau. Ndr.), ho pensato di non fare La Storia del Verde, ma alcune brevi storie di un verde vecchio e nuovo, vero o falso che sia".*

I sei capitoli non sono suddivisi secondo un argomento specifico ma, come ci ha abituato Brusatin, seguono un disinvolto procedere per associazioni, gremito da dotte citazioni.



*Il Capitolo 1.*

Il Grande Verde: parte dalla costruzione della città di Nod fabbricata in terracotta rossa da Caino, per descrivere la nostalgia per il perduto giardino del Paradiso terrestre racchiusa in questo colore e allarga il discorso alle diverse ricette medioevali e rinascimentali per preparare il verde destinato alle tintorie, ai mosaici, alle miniature, alle vetrate, alla pittura. Mette in relazione i giochi circensi giustiniane con i colori del calcio e delle nazioni, parla del colore dell'abito, dell'alchimia e dei blasoni. Prende in considerazione il diagramma kircheriano e l'uso liturgico, stabilito da Papa Innocenzo III.

*Il Capitolo 2.*

Il cavaliere Verde: prende in considerazione i colori delle fazioni circensi giustiniane, con il loro retroterra politico e ideologico, i colori dello sport, del calcio e dei 'green tartan' del golf, per approdare al romanzo cavalleresco del *'Cavaliere Verde'*, assorbito nell'Ordine della Giarrettiera e al verde del battesimo e dell'eucarestia.

*Il Capitolo 3.*

La casa verde: assume il sogno cittadino di una casa immersa nel verde che ha attraversato i secoli sin dalla fondazione dell'urbe e la costruzione dei giardini cittadini (italiano, francese, inglese, ispanico, arabo) come proiezione del Paradiso perduto. La Gartenhaus di Goethe nel bosco di Weimar è descritta come il luogo di partenza del viaggio che conduce il poeta attraverso l'Italia, per poi riportarlo a casa.

*Il Capitolo 4.*

Le pietre e le terre verdi: affronta gli aspetti misterici del colore a partire dalla *'Tavola di smeraldo'* di Ermete Trismegisto, raffigurata nel pavimento a intarsio marmoreo del Duomo di Siena; dal leone verde alchemico approda al bizantino *'Catino di smeraldo'*, creduto il piatto o coppa dell'ultima cena ma in realtà fatto di vetro colorato, di cui riportata la composizione, così come per fa per i pigmenti della pittura usati da Bellini, Giorgione e Tiziano per giungere all'antipatia degli Impressionisti per questo colore.

*Il Capitolo 5.*

L'abito e la fata verde: a partire dal dal verde tossico delle carte da parati che avvelenò l'esilio di Napoleone, giunge alla combinazione nero/verde dei truci romanzi neogotici, al verde in pittura prima e dopo le teorie di Eugène Chevreul, fino al al colore fin-de-siècle dell'assenzio, *"un lampo verde senza commenti"*.

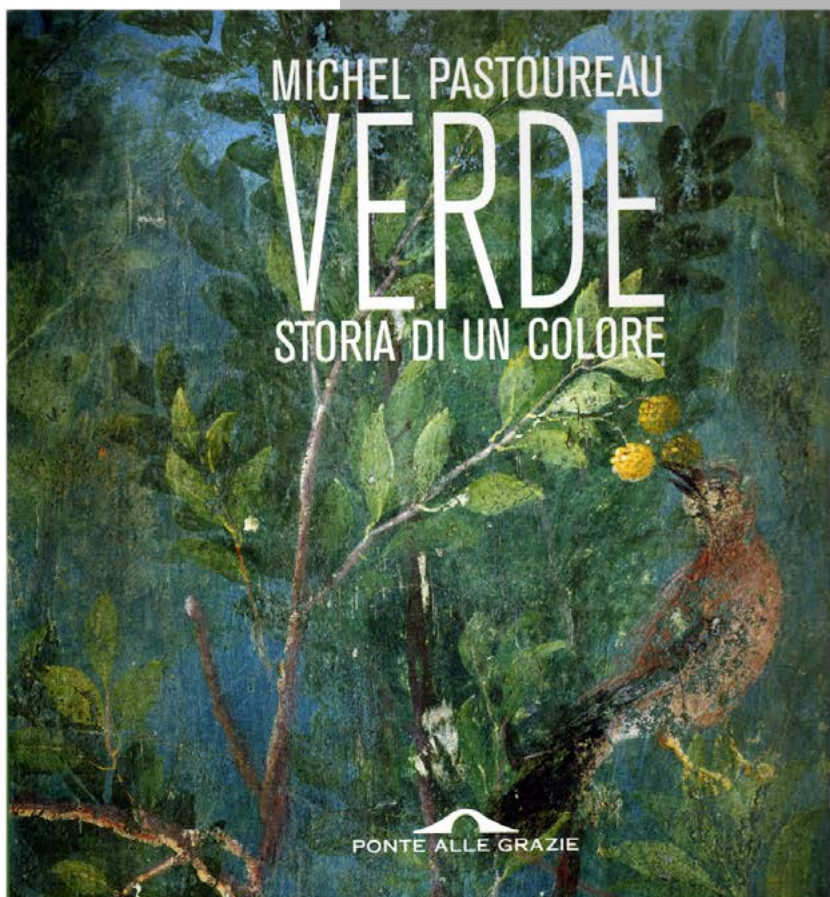
*Il Capitolo 6.*

Il secol verde: cioè il Novecento, è il secolo crudele che ha esordito nella guerra del 1915 con il gas verdognolo, ha conosciuto lo spirito scoutistico con il suo riferimento letterario nel *'Libro della giungla'*, una nostalgia del verde presente anche all'organizzazione giovanile dei Pionieri sovietici, nella fiaba di Peter Pan, nella leggenda dello Yeti. Nelle città si diffondono i giardini, nella società la penicillina, la canzone dei Pink Floyd, l'ecologia, il verde dell'Islam, quello della Lega e quello della *'green economy'*.

Un procedere destrutturato, erudito, ricco di spunti, curioso, dalla scrittura labirintica.

**Michel Pastoureau**, storico francese, specialista della cultura medioevale e della simbologia, da anni si dedica alla storia dei colori nella società occidentale con libri tradotti in più lingue di cui questo è il terzo volume, pubblicato dopo: *Blu. Storia di un colore* (2002) e *Nero. Storia di un colore* (2008), a cui seguiranno *Rosso* e *Giallo*.

*Verde. Storia di un colore* ha 240 pagine (cm. 23 x 23), tutte a colori con una ricca ricerca iconografica che permette una lettura quasi parallela al testo, è composto da 5 capitoli divisi secondo una progressione cronologica dal neolitico ad oggi, le note e la bibliografia (€ 29,80).



Nell'Introduzione Pastoureau dichiara che a tutt'oggi

*"nessun ricercatore, nessun team è ancora riuscito a proporre un metodo specifico, capace di aiutare la comunità scientifica nello studio del colore (... e che nel suo libro presenterà l'universo dei colori considerandone) il lessico e gli aspetti linguistici, la chimica dei pigmenti, le tecniche di tintura, le forme del vestiario e i codici che le accompagnano, il ruolo del colore nella vita quotidiana, le norme promulgate dalle autorità, gli interventi moralizzatori degli uomini di chiesa, le speculazioni degli uomini di scienza, le elaborazioni degli uomini d'arte",*

e a questa schema si attiene.

*Un colore incerto. Dalle origini all'anno mille: affronta i problemi di produzione e di nominazione del colore verde, riprende il*

dibattito sugli incerti confini cromatici di tutti i vocaboli del colore, esemplificato dal caso della letteratura greca, passando dai Barbari e dai Romani approda ai giochi circensi, al ruolo della Chiesa (quasi assente nella Bibbia il verde diventa uno dei colori liturgici con Innocenzo III) e dell'Islam.

*Un colore cortese. XI-XIV secolo: analizza l'importanza simbolica attribuita nel Medioevo al giardino e alle piante, estesa alla primavera e poi traslata nei codici cortesi della gioventù dell'amore e della speranza e nel codice cavalleresco, a cui appartiene la leggenda di Tristano, eroe verde.*

*Un colore pericoloso. XIV-XVI secolo: l'instabilità del verde nella pittura e nella tintura origina – accanto agli altri aspetti simbolici – anche un significato malefico, facendone il colore del diavolo, delle streghe, del veleno e della putrefazione. Nell'araldica viene associato al piombo, a Venere, allo smeraldo, al giovedì e alla Forza; del verde si occupano anche i trattati sui colori e sull'abbigliamento.*

*Un colore secondario. XVI-XIX secolo:* partendo dall'iconoclastia protestante analizza il verde nella pittura, nell'abbigliamento, nelle creature soprannaturali delle fiabe, nelle superstizioni, nella pittura; il suo fascino che cattura l'attenzione dei poeti e degli artisti pre-romantici e la sua presenza nella prima coccarda rivoluzionaria del 1789.

*Un colore tranquillizzante. XIX-XXI secolo:* colore di moda durante il Neoclassicismo e presente nella pittura dell'Ottocento, il verde viene disdegnato dalle teorie del colore che privilegiano la triade primaria del blu-rosso-giallo, è screditato dai docenti-artisti della Bauhaus, poi nel Novecento si diffonde un verde, che Pastoureau chiama 'amministrativo', negli uffici, nelle farmacie, negli ospedali, nello sport e poi nell'ecologia.

Oggi, conclude l'autore,

*"più che un colore è (diventato) un'ideologia, al secondo posto nelle preferenze dei colori della popolazione europea, dopo il blu".*

Un libro imperdibile per chi si interessa alla cultura del colore, con un impianto storico scrupoloso e una scrittura chiara e piacevole.

# Colours and Soap Bubbles

*It's because I don't do anything, I chatter a lot, you see, it's already a month that I've got into the habit of talking a lot, sitting for days on end in a corner with my brain chasing after fancies. It is perhaps something serious? No, it's nothing serious. They are soap bubbles, pure chimeras that attract my imagination.*

*Fedor Dostoevsky, Crime and Punishment*

## 1. INTRODUCTION

It is very interesting to study the parallel story of soap bubbles and soap films in art and science. Noting that mathematicians in particular have been intrigued by their complex geometry, the interest, both scientific and artistic, was first on the colors on the surface of soap films. Probably motivated by the large diffusion of paintings of children and puttos playing with soap bubbles.

On December 9, 1992 the French physicist Pierre-Gilles de Gennes, professor at Collège de France, after being awarded the Nobel Prize for physics concluded his conference in Stockholm with a poem on soap bubbles, adding that no conclusion seemed most appropriate. The poem appears as a closure to an engraving of 1758 by Daullé from François Boucher's lost painting *La souffleuse de savon*. De Gennes did not want to allude to the allegorical meanings that soap bubbles had had for many centuries: symbol of vanity, fragility of human ambition and of human life itself.

Soap bubbles and soap films were one of the matters of his conference, which was entirely devoted to the *Soft Matter*. Bubbles that "are the delight of our children", he wrote. A reproduction of the engraving was included in the article. [1] Soap bubbles are one of the most interesting matters in many sectors of scientific research:



Figure 1 - F. Boucher, *La souffleuse de savon*, 1758 [2]

from mathematics to chemistry, from physics to biology. But not only, also in architecture and in visual arts, not to speak of design and even of advertising. A story that began so many centuries ago and it is still present.

## 2. ART AND SCIENCE: A PARALLEL HISTORY

It is natural that among the first ones to be attracted by the iridescent soap films were the artists, in particular the painters. While for mathematicians soap films are models of a geometry of very stable forms, for the artists soap bubbles have been of great interest not just for their playfull aspect but as symbol, as allegory of the brittleness, of the frailty of the human things, of life. They are an aerial and light symbol, always fascinating for their endless variety of colors and forms.

A series of engravings realized by Hendrik Goltzius (1558-1617) is the starting point of the fortune of soap bubbles in the XVI and XVII century Dutch art. The best known is entitled *Quis evadet* (Who escapes) and is dated 1594. The history of the relationships between soap bubbles and visual art has been told, including numerous reproductions, in a book published in 2009 [2]. One of the most famous painting, also remembered in his writings by de Gennes, was realized in the first part of the 1700s by the famous French artist Jean Baptiste Siméon Chardin (1699-1779), in different versions, under the title *Les Bulles de savon*. It is very suggestive and of a rare beauty.

Soap bubbles attracted Chardin because of his interest in children and young people, in their world, their games. He was also attracted by the colors of soap bubbles, as the painting (it exists in three different versions) shows very clearly. It is very likely that playing with soap bubbles was a very popular children's game at that time. And it is natural that also scientists became interested in the phenomena surrounding the formation of soap bubbles and the colors on their surfaces.



### 3. SCIENTISTS START STUDYING SOAP BUBBLES

In 1672 the English scientist Hook presented a note to the Royal Society, later published by Birch in the *History of the Royal Society* in 1756. Hook wrote that with a solution of soap numerous small bubbles were blown through a small tube of glass. He noted that it could easily be observed that at the beginning the liquid film forms a spherical surface that imprisons a globe of air. It is a liquid film white and clear without the least coloration; but after a few moments, while the film is gradually thinning, all varieties of colours can be observed to appear on its surface as in a rainbow.

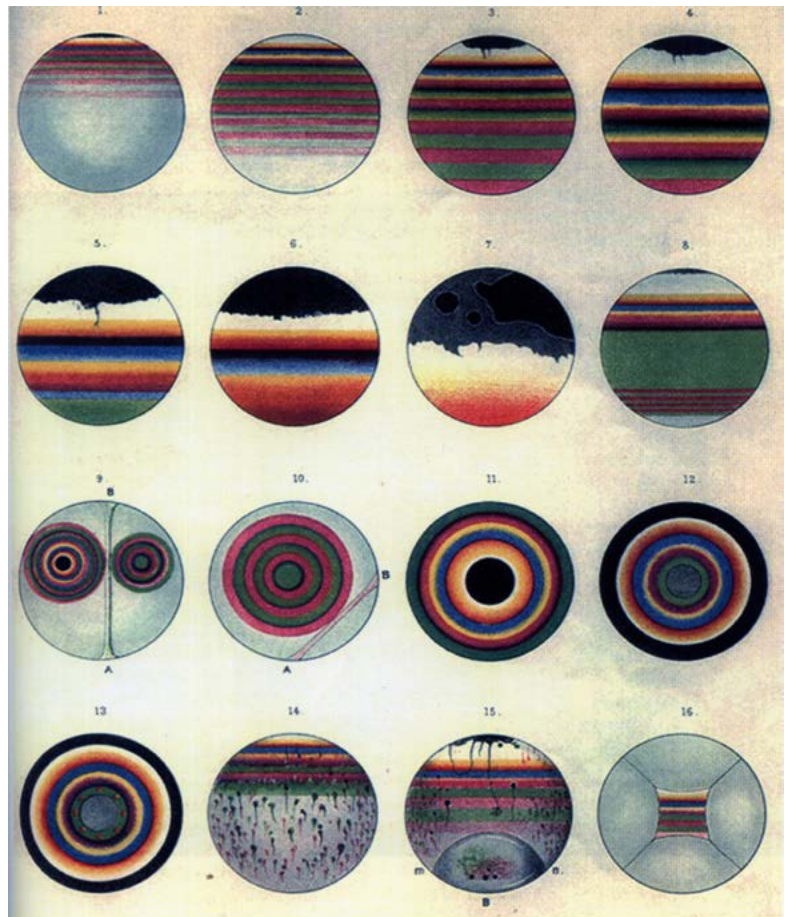
If Hook is among the first ones to attract the attention of the scientists on the problem of the formation of colours on the thin soap bubbles, it is Isaac Newton in *Opticks*, [3] whose first edition is published in 1704, to describe in detail the phenomena that are observed on the surface of the soap films. In volume II, Newton describes his observations on soap bubbles. In particular he observes that if a soap bubble is formed with some water made more viscous using soap, it is very easy to observe that after a while a great variety of colours will appear on its surface. Newton noted that in this way colours were disposed according to a very regular order, like many concentric rings beginning from the highest part of the soap bubble. He also observed that as the soap film became thinner due to the continuous diminution of the contained water, such rings slowly dilated and finally covered the whole film, moving down to the low part of the bubble and then disappeared.

The phenomenon that Newton observed is known as interference: it happens when the thickness of the soap film is comparable to the wavelength of visible light.<sup>a</sup> An easy experiment can be performed with a rectangular loom that is vertically extracted from a solution of soapy water; the light reflected by the soap film produces a system of horizontal lines, due essentially to the fact that the soap film is constituted by the two non parallel faces of the same film.

In *Optics* Newton wrote:

*"The precedent Observations were made with a rarer thin Medium, terminated by a denser, such as was Air or Water compress'd between two Glasses. In those that follow are set down the Appearances of a denser Medium thin'd within a rarer, such as are Plates of Muscovy Glass, Bubbles of Water, and some other thin Substances terminated on all sides with air."*

*Obs. 17. If a Bubble be blown with Water first made tenacious by dissolving a little Soap in it,*



*'tis a common Observation, that after a while it will appear tinged with a great variety of Colours. To defend these Bubbles from being agitated by the external Air (whereby their Colours are irregularly moved one among another, so that no accurate Observation can be made of them,) as soon as I had blown any of them I cover'd it with a clear Glass, and by that means its Colours emerged in a very regular order, like so many concentrick Rings encompassing the top of the Bubble. And as the Bubble grew thinner by the continual*

Figure 2 - Anonymous, Dutch School, XVII century

Figure 3 - D. Brewster [4]



*subsiding of the Water, these Rings dilated slowly and overspread the whole Bubble, descending in order to the bottom of it, where they vanish'd successively. In the mean while, after all the Colours were emerged at the top, there grew in the center of the Rings a small round black Spot, like that in the first Observation, which continually dilated it self till it became sometimes more than 1/2 or 3/4 of an Inch in breadth before the Bubble broke Besides the aforesaid colour'd Rings there would often appear small Spots of Colours, ascending and descending up and down the sides of the Bubble, by reason of some Inequalities in the subsiding of the Water. And sometimes small black Spots generated at the sides would ascend up to the larger black Spot at the top of the Bubble, and unite with it.*

*Obs. 18. Because the Colours of these Bubbles were more extended and lively than those of the Air thinn'd between two Glasses, and so more easy to be distinguish'd, I shall here give you a farther description of their order, as they were observ'd in viewing them by Reflexion of the Skies when of a white Colour, whilst a black substance was placed behind the Bubble. And they were these, red, blue; red, blue; red, blue; red, green; red, yellow, green, blue, purple; red, yellow, green, blue, violet; red, yellow, white, blue, black... In the mean while at the top, which was of a darker blue than the bottom, and appear'd also full of many round blue Spots, something darker than the rest, there would emerge one or more very black Spots, and within those, other Spots of an intenser blackness, which I mention'd in the former Observation; and these continually dilated themselves until the Bubble broke."*

A century later after Newton, David Brewster wrote a paper by the title "On the Colours of the Soap-Bubble". [4]

*"The colours of the soap-bubble have been the subject of frequent observation since the time of Boyle, Hook, and Newton, and they have been invariably ascribed not to any colour in the medium itself in which they are formed, or on whose surfaces they appear, but solely to its greater or less thickness."*

The author of this paper had been led to doubt the correctness of this opinion, and while repeating the beautiful experiments of Professor Plateau "On the equilibrium of liquid films," he discovered the true cause of these colours, whether they are observed on the soap bubble or on plane, convex, and concave films stretched across the mouths of closed or open vessels.

The paper, which is illustrated with numerous coloured drawings, is divided into five parts.

1. On the phenomena of colour in a vertical plane film.
2. On the production of revolving systems of coloured rings on the soap film.
3. On the form and movements of the bands and rings on convex and concave films.
4. On the phenomena produced by different solutions.
5. On the origin and development of the colours on the soap bubble.

In these sections the author has shown that the colouring matter of the soap-bubble is secreted from the soap solution when reduced to the state of a film;—that it rises to the highest point of the film in colourless portions, in the form of a tadpole, which pass into molecules of every possible order of colour, and then take their proper place in the coloured bands;—that these bands move over the surface of the film under the influence of gravity, and may be blown into fragments or into molecules of all colours, or even recombined with the film.

*"It is impossible," the author adds, "to convey in language an adequate idea of the molecular movements, and the brilliant chromatic phenomena exhibited on the soap films, and it is equally impossible for art to delineate them."*

For the scientists of the XVIII century the connection among the soap bubbles and some natural phenomena that follow schemes of maximum and minimum was not at all clear; only in the XIX century it will be understood that soap bubbles furnish an experimental model for problems of mathematics and physics, inserting soap films to full title in the sector of mathematics called Calculation of the Variations.

#### 4. A BLIND MATHEMATICIAN

One of the most important problems for which soap bubbles and soap films furnish an experimental model of the solution is called the Plateau problem, from the name of a Belgian physicist. The general mathematical solution to the problem of Plateau was difficult to obtain. Antoine Ferdinand Plateau (1801-1883) began his scientific career in the field of astronomy. In 1829 during an experiment he exposed too long his eyes to sunlight, causing irreversible damage to his sight. Since 1843 he was completely blind. He took an interest in the nature of forces in molecular fluids, to discover the forms that generate soap films contained in metal wires immersed into soapy water. In

1873 he published the result of fifteen years of research in two volumes: *'Statique expérimentale et théorique des liquides soumis aux seules forces moléculaires'* [5]

Plateau himself introduced the general principle that is the basis of his work. The idea is to draw a closed contour with the only condition that it contains a limited portion of the surface and that it is compatible with the surface itself; if then a wire identical to the previous contour is constructed, plunged entirely in the soapy liquid and then pulled out, a set of soapy films is generated representing the portion of area under consideration. Plateau cannot do without noting that these surfaces are obtained *'almost by magic.'*

And here is the great discovery of Plateau, incredible at first sight: however high the number of soap films that come into contact with each other, there can be only two types of configurations. Precisely the three experimental rules that Plateau discovers about soap films are:

- 1) a system of bubbles or a system of soap films attached to a supporting metallic wire consists of surfaces flat or curved that intersect with each other along lines with very regular curvature.
- 2) surfaces can meet only in two ways: either three surfaces meeting along a line or six surfaces that give rise to four curves that meet in a vertex.
- 3) the angles of intersection of three surfaces along a line or of the curves generated by six surfaces in a vertex are always equal in the first case to  $120^\circ$ , in the second to  $109^\circ 28'$ .

Another question remained still open: were the laws discovered experimentally by Plateau for the geometry of soap films correct or not?

*"In this work we provide a complete classification of the local structure of singularities in the three-dimensional space, and the results are that the singular set of the minimal set consists of fairly regular curves along which meet three films of the surface with angles equal of 120 degrees and isolated points where meet four of these curves giving rise to six films also with equal angles.*

*The results apply to many real surfaces that are generated by surface tension, as to any aggregate of soap films, and so provide a proof of experimental results obtained from Plateau over a hundred years ago."*

Thus begins one of the best known work of mathematics of last century. Written by Jean E. Taylor, entitled *The Structure of Singularities* in

Soap Bubble-and-Like Soap-Film-Like minimal Surfaces. [6] Fred Almgren and Jean Taylor wrote a well - known article on their research published in *Scientific American* in 1976. [7]

In 1979 I realized the film *Soap Bubbles*, in the series *Art and Mathematics*, starring Fred Almgren and Jean Taylor. [8] The film was made at Princeton University, using real models with soapy water, while in the new film on minimal surfaces produced by A. Arnez, K. Polthier, M. Steffens and C. Teitzel at University of Bonn and at Technical University of Berlin in 1995 all models are made with computerized animation. [9] In both films the brilliant colours of soap films and bubbles have a fundamental role.

Of course the new computerized soap does not alter the charm of playing with real soap bubbles! Mark Twain was right when he wrote:

*'A soap bubble is the most beautiful and most elegant object, that there is in nature ..... I wonder what would be required to buy a soap bubble if in the world there existed only one.'*

## 5. SOAP BUBBLES IN ART AND ARCHITECTURE

The famous French artist Manet painted *Les bulles des savon* in the same years of the publication of the research of Plateau Some years after D'Arcy Thompson in the book *On Growth and Form*, [10] a classic book dedicated to the study of animal forms using mathematical models, devotes a chapter to the discoveries of Plateau and the use of his laws on soap films to explain the shape of some of the *Radiolaria*.

*"The peculiar beauty of soap bubbles, the resulting forms, are so pure and so simple that we come to look on them as a mathematical abstraction",* wrote D'Arcy Thompson.

Since the publication of the book by Thompson some of the images have been always linked to the geometry of soap films. Images that have influenced many designers, artists and architects. [1]

When in 1976 the mathematician Jean Taylor proved that the laws of Plateau were correct, a student of art, Bradley Miller, went to Princeton University where Taylor worked together with her husband Fred Almgren. Miller had the idea of using photography to fix the structure of soap films. These images were printed in an art book in 2007 [11] and were on show in a gallery in Venice during the annual congress on *Mathematic and Culture*.

In 1890 Boys completed his book *Soap Bubbles*, [12] in which he summarized his own experience in explaining to a large public the geometry of soap bubbles and soap films:

*"I do not suppose that there is anyone who has not occasionally blown a common soap bubble, and while admiring the perfection of its form, and the marvelous brilliancy of its colour, wondered how such a magnificent object can be easily produced. I hope that none of you are yet tired of playing with bubbles, because as I hope we shall see, there is more in a common bubble than those who have only played with them generally imagine."*

In his book *Boys* published a colour plate on the colour on the surface of soap bubbles and soap films.

In the XVIIth Century colour in soap bubbles became fascinating to children and artists, like Chardin and Manet. In the XVIIIth Century those colours attracted scientists like Newton. The interest they aroused has never come to an end. As foreseen by Lord Kelvin, artists, architects, mathematicians, physicists and biologists among others continued to study colour and shape in soap films throughout the centuries. The story of soap bubbles in art and science is a never ending story...

## NOTES

a) for more details <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/soapfilm.html>

## BIBLIOGRAPHY

[1] P.G. de Gennes "Soft matter", *Science*, vol 256, April 24 th 1992, pp. 495-497.

[2] M. Emmer, *Bolle di sapone tra arte e matematica*, Bollati Boringhieri, Torino, 2009. Premio letterario Viareggio per la saggistica 2010.

[3] Newton, *Opticks or a treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*, reprinted Cosimo, New York, 2007

[4] David Brewster, "On the Colours of the Soap-Bubble.", *Transactions of the Edinburgh Bibliographical Society*, vol. 25, pt. 1, 1867, p. 491.

[5] J. Plateau, *Statique expérimentale et théorique des liquides soumis aux seules forces moléculaire*, Gauthier-Villars, Paris 1873.

[6] J. Taylor, *The Structure of Singularities in Soap-Bubble-Like and Soap-Film-Like Minimal Surfaces*, *Annals of Mathematics*, vo. 103, 1976, p. 489-539.

[7] F. Almgren & J. Taylor, *The Geometry of Soap Bubbles and Soap Films*, *Scientific American*, July 1976, p. 82-93.

[8] M. Emmer, "Soap Bubbles", film & DVD, colour, sound, 25 m., Emmer Prod., Rome, 1979.

[9] A. Arnez, K. Polthier, M. Steffens and C. Teitzel, *Toucing*

*Soap Films*, film DVD, colour, sound, 41 m., Springer, Berlin 1999.

[10] D'Arcy Thompson, *On Growth and Form*, vol.1, Cambridge University press, Cambridge 1942.

[11] B. Miller, *Bubble Shadows*, Anderson Ranch Arts Center, Snowmass, Col., 2006 B. Miller, "Bubble Shadows", in M. Emmer, ed., *Matematica e cultura 2008*, Springer, Milano, p. 323-331.

[12] V. Boys, *Soap Bubbles. Their Colours and the Forces which Mould Them*, Dover, New York, 1959.

# Interaction of color scheme and noise in the metro interior. Multisensory evaluation and subjective testing

<sup>1</sup> Natalia Alekseeva

natalia-alekseeva@yandex.ru

<sup>2</sup> Alessandra Cirafici

alessandra.cirafici@unina2.it

<sup>3</sup> Vincenzo Paolo Senese

vincenzopaolo.senese@unina2.it

## ABSTRACT

In this paper the results of research, aimed at investigation of the acoustic comfort on board of urban transport systems are presented. A large segment of the research is devoted to the experimental analysis and evaluation of the interaction between the metro car interior color and noise perception, through the use of virtual reality and subjective tests. Several studies showed that vision and audition instead of being independent modalities interact in complex ways. The results of this research showed that, despite of expectations of the interaction of sound and colors impacts on personal judgments, evaluations given to the interior colors were influenced only by the color scheme. Sound environment perception was influenced only by the noise factor.

## 1. INTRODUCTION

Acoustics is an important component determining the passenger satisfaction. Recently several attempts to assess acoustic comfort aboard rail transport were carried out. Most of them were focused on acoustic parameters and subjective annoyance [1- 4]. Generally during the tests participants were seated in a laboratory room and listened to prerecorded metro or high speed trains sounds, presented through loudspeakers or headphones, indicating their opinion. Usually they were asked to imagine being aboard [3] while seated in a laboratory room [5]. However, these procedures reproduce environmental information in a simplified way and do not take into account the multisensory nature of human perception: sounds are presented to participants without contextual visual scenarios. There is a large body of research showing that vision and audition instead of being independent modalities interact in complex ways [6 - 8]. In our previous study [9] we have seen that visual components seem to modulate the impact of noise on cognitive performances and self-report evaluations. As regards the sound intensity assessment, some researches have shown that visual factors, such as colors, can modulate loudness judgments. For example, colors like red or pink seem to increase perceived loudness, whereas grey or pale green seem to decrease it [10]. In another study, instead, no influence of train color on loudness evaluation was found [11].

In this paper, the investigation of the acoustic comfort on board metros is described. A large segment of the research is devoted to the experimental analysis and evaluation of the interaction between the metro car interior color and noise perception through the use of innovative technology of virtual reality and

subjective tests.

The article will cover following steps of the research:

- Survey of existing metro interior colors,
- Interior chromatic solutions design and selection,
- Audio stimuli selection for the experiment,
- Virtual reality design for experiment,
- Immersive Virtual Reality experiments,
- Data analysis and conclusions.

## 2. SURVEY OF EXISTING METRO INTERIOR COLORS

First of all, to study a current situation of colors utilization inside metro cars, a survey on 150 existing metros was fulfilled. The interior photographs of metro carriages from all over the world were downloaded from the official sources - websites of metros. The survey has shown that in most cases white color was used for the internal side panels, white or grey colors were prevalent for the metro doors (Figure 1); dark tints were used on the floor of carriages: grey, brown, dark blue, black; while the variety of colors were utilized for the chairs: brown, green, black, grey, red and blue, the last one was the most used (30% of metros). As for the accessories, the yellow color is added to the majority of neutral grey and white hues. That is done considering the needs of visually impaired passengers in order to clearly identify important accessories, such as railings, with strong color contrasts.

The conducted survey has shown that not always the interior colors were fairly equilibrated between each other, especially as regards the old metros. The preference of neutral hues choice

<sup>1</sup> PhD in Environmental Technical Physics

<sup>2</sup> Department of Architecture and Industrial Design «Luigi Vanvitelli», The Second University of Naples

<sup>3</sup> Department of Psychology, The Second University of Naples

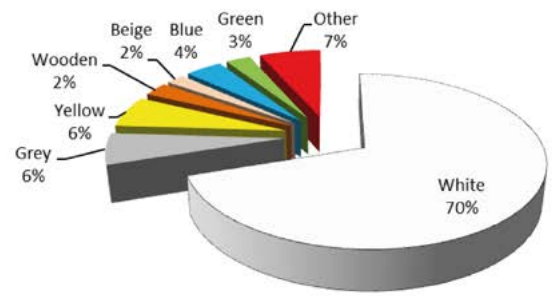
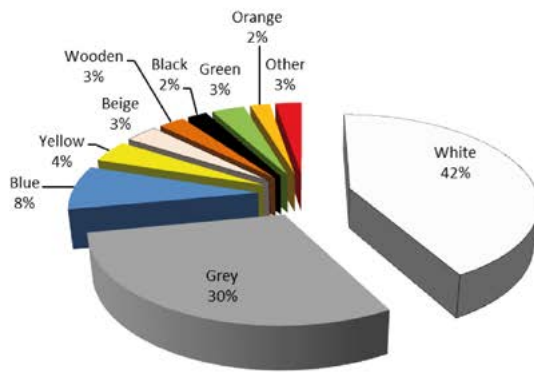


Figure 1 - Statistics on side panel (left picture) and doors (right picture) colors used in the metro interiors

for most elements seems to be quite traditional. It could be caused by the specific materials availability and practicalness, as well as the desirable in public transport means sensation of calmness. But in some cases the neutral colors could evoke the sensation of boredom. Therefore it is necessary to fulfill a subjective evaluation of the internal scenarios. For the research goals it was decided to create several not very typical chromatic dimensions to investigate the reactions of people and to estimate their visual, acoustic and complex comfort.

### 3. INTERIOR CHROMATIC SOLUTIONS DESIGN AND SELECTION

To propose new interior chromatic solutions for the Immersive Virtual Reality (IVR) tests, a wide study was performed. Forty color palettes from the guidebook [12] were taken as a starting material. They were thoroughly examined on kind of sensations and psychological reactions the different colors combinations should evoke in the people's mind (e.g. calmness or vivacity).







Concept: <b>Tranquil</b>	Name: <b>Beige</b>	Used colors
		R224 R198 R131 R30 G222 G188 G132 G30 B216 B137 B122 B30
		
		Tranquil colors invite the viewer to ponder, to daydream and relax. Hues with short wavelengths, such as blue, blue-violet, and blue- green, enter the eye easily and require little energy to process in the brain resulting in a decrease in metabolic rate. Warm neutral colors connote comfort and safety; warm grays are particularly relaxing and offer the added indeterminate quality of that neutrality as an invitation to thoughtfulness. When using colors in combination, a serene quality is imparted by keeping the values of adjacent colors similar, so their edges appear to soften.
Concept: <b>Innovative</b>	Name: <b>Blue</b>	Used colors
		R224 R206 R142 R0 G222 G214 G144 G53 B216 B75 B143 B45
		
		The innovative color consists mainly in the search for combinations that haven't been imagined yet, such as the hues which are situated far away from each other on the color wheel, or which appear to have no harmonic relationship: violet and green, blue-violet and brown, olive green and neutral gray. Even the color combinations that have historically been labeled as "gaffes chromatic" give the idea of breaking the tradition for searching for something new. Ultra-bright colors, which refer to the technology as a part of the base of combination, create a contrast effect that may represent a futuristic vision.

Table 1 - Elaborated color schemes



The practicalness and adequacy of their use in the metro environment was also considered. More than thirty design solutions were elaborated by means of Photoshop. The pictures of simulations were proposed to design experts and to ordinary people to get their judgments and suggestions. Finally, four color palettes were selected: tranquil, innovative, corporative and multicultural. Selecting the colors from these chromatic palettes, several color schemes were elaborated for the metro experiments. Considering the security needs, the exit from the car was always emphasized by the doors or other elements color that differed from the side panels. Four chromatic dimensions chosen for the test are represented in the Table 1[12].

#### 4. AUDIO STIMULI FOR THE EXPERIMENT

Binaural audio signals (16 bit/44.1 kHz) which were recorded by a portable two-channel device

“M-Audio Microtrack 24/96” and binaural headphones “Sennheiser Noise Gard HDC 451” during the trips in world great cities’ metros were used as basic acoustic material for the test. Three soundtracks with different loudness were chosen for this experiment: the quietest one, Berlin S3, which was however characterized by the presence of soft rattling noise; the noise of Turin VAL, belonging to the rubber-tyred metro systems, and the loudest one, Naples L1.

The parts of soundtracks between two successive stations, with duration approximately one minute, were extracted from the original sound records of these three metro lines. Each soundtrack was analyzed in terms of Equivalent noise level (Leq), Loudness (N), 5 percentile Loudness (N5), Sharpness (S), Roughness (R) and Fluctuation Strength (FS), and Psychoacoustic Annoyance (PA) [13] was calculated for each track, the data are reported in Table 2. Values are the average of the left and right channels.







Concept: <b>Corporate</b>	Name: <b>Yellow</b>	Used colors															
		<table border="1"> <tr> <td>R201</td> <td>R251</td> <td>R92</td> <td>R151</td> <td>R30</td> </tr> <tr> <td>G202</td> <td>G212</td> <td>G127</td> <td>G35</td> <td>G30</td> </tr> <tr> <td>B200</td> <td>B118</td> <td>B146</td> <td>B63</td> <td>B30</td> </tr> </table> 	R201	R251	R92	R151	R30	G202	G212	G127	G35	G30	B200	B118	B146	B63	B30
R201	R251	R92	R151	R30													
G202	G212	G127	G35	G30													
B200	B118	B146	B63	B30													
		<p>The gray and blue are the favorite corporate colors, which communicate to the public the essential business qualities of competence, reliability and calmness. The red, tending to burgundy, adds a sense of power to reinvigorate the neutrality and reliability of gray and blue and also contains authorities and vitality. The deeper greens and soft violets bring respectively a feeling of growth and economic status or royal authority. The gray, combined with a variety of colors makes them look more sophisticated and unified. Combining several similar hues of the same value and with a reduced saturation, is used to create a sensation of elegance, of submission and control.</p>															
Concept: <b>Multicultural</b>	Name: <b>Red</b>	Used colors															
		<table border="1"> <tr> <td>R209</td> <td>R55</td> <td>R196</td> <td>R129</td> </tr> <tr> <td>G212</td> <td>G66</td> <td>G38</td> <td>G138</td> </tr> <tr> <td>B211</td> <td>B74</td> <td>B46</td> <td>B143</td> </tr> </table> 	R209	R55	R196	R129	G212	G66	G38	G138	B211	B74	B46	B143			
R209	R55	R196	R129														
G212	G66	G38	G138														
B211	B74	B46	B143														
		<p>The multicultural color schemes can be severely limited or fairly open in terms of number and variety of colors they use. A reduced palette composed of gray, black, white, red and golden yellow represents a common approach to a design that should be as international as possible. A wide range of mixed colors in a very essential presentation can transmit an idea of a mixture of numerous kinds of visual tradition. In the combination of colors with similar value, the interaction of hue is emphasized and more openly expresses their cultural union.</p>															

Table 1 - Elaborated color schemes

Table 2 - Characteristics of noise tracks chosen for the experiment.

Noise track	Leq, dB(A)	N, soneGF	N5, Sone	S, Acum	R, cAsper	FS, cVasil	PA
1. Berlin S3	64,10	15,56	20,92	0,99	25,29	24,44	24,29
2. Naples L1	80,53	35,96	64,33	1,05	30,86	39,73	73,45
3. Turin VAL	73,45	30,10	37,23	1,19	28,12	22,34	42,16

## 5. VIRTUAL REALITY DESIGN FOR EXPERIMENT

3D graphic virtual reality scenarios of a metro and platform were created. The graphic model was designed by means of Google SketchUp 7.0 software, simulating geometrical constructions according to actual dimensions, and elaborated color schemes. The virtual metro train was composed of two coaches attached to each other. Along the virtual platform several avatars simulated passengers waiting for the train. In the metro coaches some avatars appeared seated and some were standing (Figure 2). The WordViz software for virtual reality development allowed the simulation of the train movement, opening/closing of doors and the changing of environment outside the metro coach during the tunnel passage. As well, the sounds from the chosen tracks of acoustic signals were inserted. Twelve virtual scenarios were organized to test all the combinations of color schemes and noises (four color schemes vs. three noise tracks). Following names were given to the color schemes for convenience: the first color scheme – Beige, the second one – Blue, the third – Yellow and the fourth – Red.

Figure 2 - A metro train model designed in Google SketchUp (section).

Figure 3 - Participants in the laboratory of IVR testing.



## 6. IMMERSIVE VIRTUAL REALITY EXPERIMENTS

### 6.1. EXPERIMENT LOCATION AND INSTRUMENTATION

The IVR experiments were carried out in the Built Environment Control laboratory Ri.A.S. of the Second University of Naples, in a room arranged for the IVR subjective testing (Figure 3). The IVR set includes a work station supplied with software Vizard 4.0 and linked to the following devices: eMagin Z800 3Dvisor, Polhemus PATRIOT, position tracking and 3D digitalizing system and Pioneer Bass Boost headphones.

### 6.2. TEST PROCEDURE

During the test participants were submitted to twelve scenarios, described supra, representing virtual journeys between two metro stations. Before starting the test, participants were asked to pay attention to the color schemes of the interiors and sounds they perceive, and feeling of comfort or discomfort they got. During the journey they could seat or stand, turning the head and moving normally in the virtual environment. The order of presentation of the scenarios was quasi-randomized and counterbalanced within

each subject and across subjects. At the end of each scenario participants were required to fill in a self-report questionnaire in Microsoft Excel. In this questionnaire they expressed their judgements on the interior colors, sounds and overall atmosphere, estimating sound volume and annoyance.

### 6.3 SUBJECTIVE ASSESSMENT

The subjective assessment of every scenario was fulfilled by means of specially elaborated questionnaire in Italian, divided into the following categories: interior colors assessment, sound volume rating and sound annoyance rating, and overall opinion of the scenario environment. The interior colors assessment and overall assessment were carried out by means of Semantic Differentials (SDs). Several seven-point bipolar scales were elaborated for the description of sensations provoked by the metro. Participants chose the correct ones according to their ratings from the window of multiple choice. The sound volume and noise annoyance of each scenario was evaluated by means of the scrollbar on which the participants could choose the value corresponding to their opinion. The sound volume was quantified from 0 («very low») to 100 («very high»), and sound annoyance was quantified from 0 («not at all») to 100 («greatly»).

### 6.4. PARTICIPANTS DESCRIPTION

32 persons (16 males and 16 females) recruited from the students and personnel of the Second

University of Naples participated voluntarily in the study. Mean age of the participants was 25.4, SD = 3.9 (range 19 to 42 years). All participants reported normal hearing and normal or corrected to normal vision.

## 7. DATA ANALYSIS

### 7.1. INTERIOR COLORS ASSESSMENT

The mean values of the SDs estimating internal colors are represented on the graphs in the Table 3. The scores of all three metros were averaged. To analyze the effects of Scenarios on mean values of six SD internal colors assessments, two 3x4 ANOVAs that treated noise as three-level within-subject factor and color as four-level within-subject factor, was carried out. The results showed that no one of the SD variables was influenced by the metro noise factor: D1:  $F(2, 9) = 1.71, p = .24$ ; D2:  $F(2, 9) = 0.47, p = .64$ ; D3:  $F(2, 9) = 0.55, p = .59$ ; D4:  $F(2, 9) = 0.28, p = .76$ ; D5:  $F(2, 9) = 0.23, p = .80$ ; D6:  $F(2, 9) = 0.60, p = .57$ .

The semantic differentials were influenced by the color scheme. The analysis revealed that: the Beige metro was judged more relaxing than Blue one; Beige color scheme was more harmonious than Blue and Yellow, and Red color scheme was evaluated as more harmonious than Blue one. Beige metro was more equilibrated than Blue and Yellow, Beige and Red metros were assessed as more adequate than Blue, and, finally, Red color scheme was rated as more familiar than Beige and Yellow ones.

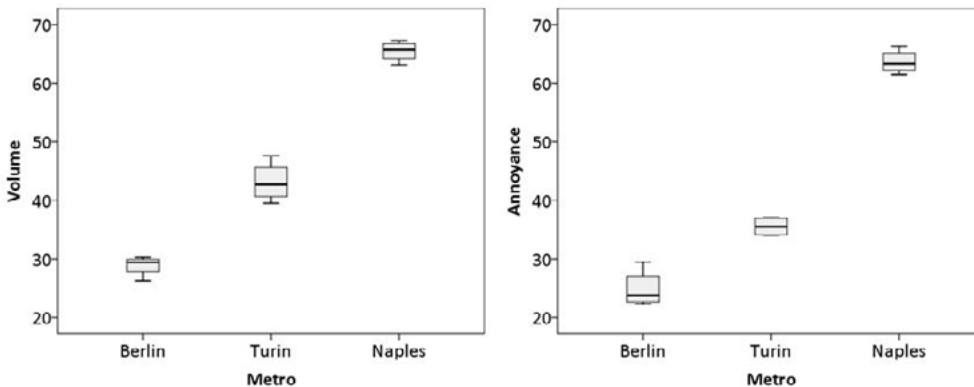


Figure 4 - Mean values of subjective assessments of Sound Volume and Annoyance for three metro noises

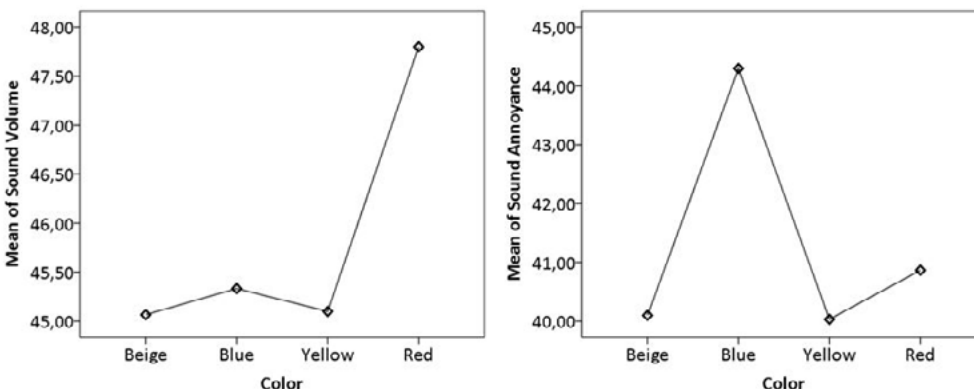
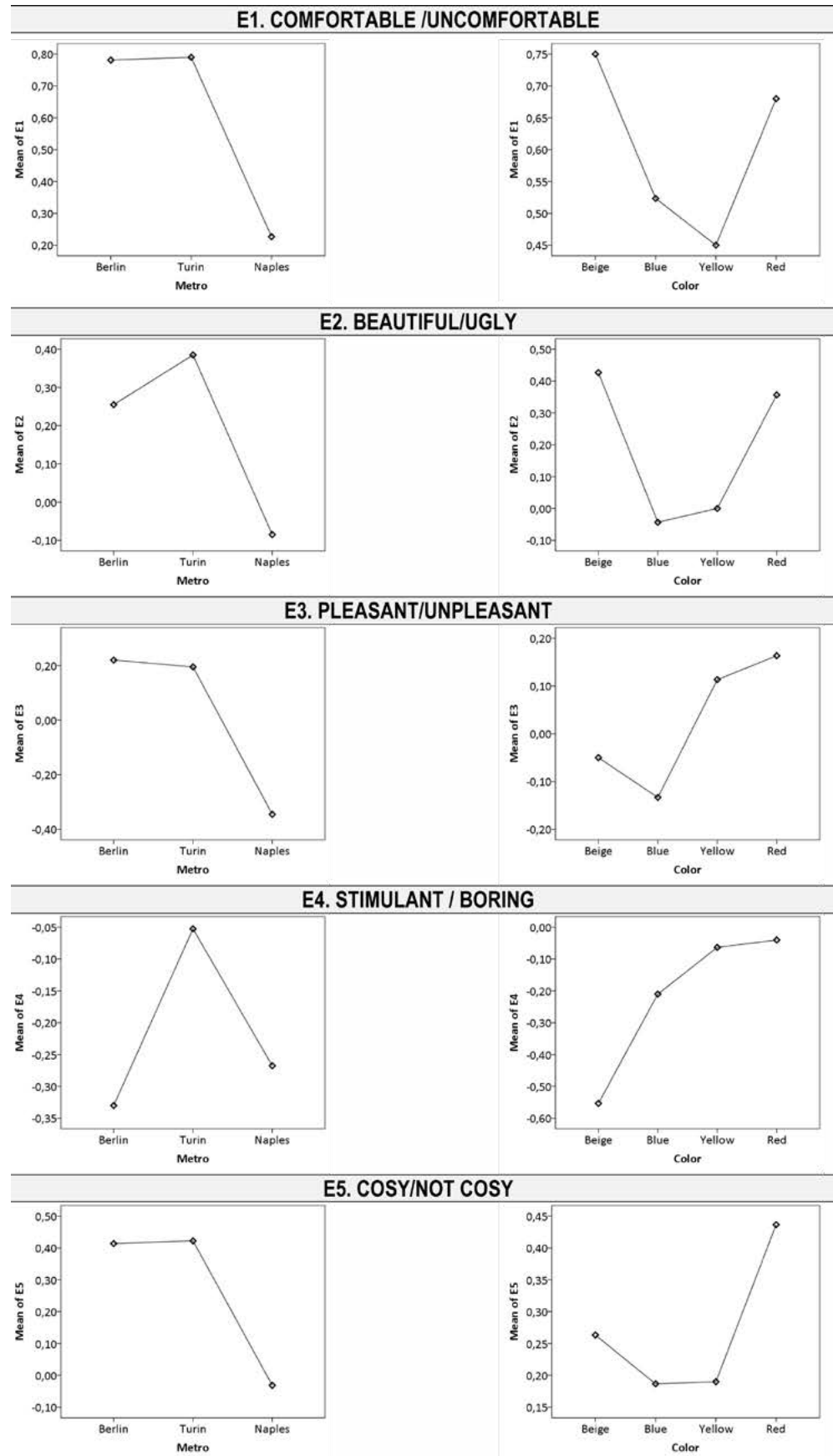


Figure 5 - Mean values of subjective assessments of Sound Volume and Annoyance for four color schemes

Table 3 - Mean values of semantic differentials for overall metro environment assessment.



### 7.2. ESTIMATIONS OF SOUND VOLUME AND SOUND ANNOYANCE

On the Figure 4 the average for four color schemes values of Sound Volume (left) and Annoyance (right) estimation of three metros are depicted by means of box-plot diagrams. From

these diagrams we see that the assessment seems to be strongly correlated with Leq. The average values of these assessments for four color schemes, cumulative for all metros are represented on the Figure 5. To analyze main and interactive effects of

Scenarios on subjectively assessed Sound Volume and Annoyance, two mixed factorial 4×3 ANOVAs that treated a color scheme as four-level within-subject factor and metro noises as three-level within-subject factor was carried out. The results showed that Sound Volume was influenced only by the noise factor  $F(2, 62) = 84.50, p < .001, \eta_p^2 = 0.73$ . There was no color scheme effect  $F(3, 93) = 0.526, p = .665, \eta_p^2 = .017$ . The effect of the noise-color interaction was not found  $F(6, 186) = 0.852, p = .532, \eta_p^2 = .027$ . And similarly, for the Sound Annoyance, the results showed that it was influenced only by the noise factor  $F(2, 62) = 46.52, p < .001, \eta_p^2 = 0.60$ . There was no color scheme effect  $F(3, 93) = 0.97, p = .41, \eta_p^2 = .03$ . The effect of the noise-color interaction was not found  $F(6, 186) = 0.24, p = .96, \eta_p^2 = .008$ .

### 7.3. ESTIMATIONS OF OVERALL ENVIRONMENT

The scores for the SDs estimating overall environment are represented on the graphs in the Table 3. In the left column of the table values, averaged as a function of metro are depicted, while in the right one the values averaged as a function of colors are given. So we can easily see, for example, that metros with color scheme number 4, called «Red» were judged as more stimulating, while metro environments characterized by the Naples' metro noise, were assessed as more unpleasant and uncomfortable than others.

To analyze main and interactive effects of Scenarios on Overall Metro Environment estimation, a mixed factorial 4×3×2 ANOVA that treated a color scheme as four-level within-subject factor, metro noises as three-level within-subject factor and gender of participants as two-level between subject factor, was carried out. The results showed that the assessments of Comfort, Beauty, Pleasantness, and Coziness were influenced by the noise factor. In all these cases the Naples metro ratings were lower than those of Berlin and Turin. Instead, the assessment of Stimulation was influenced by the color factor. The Beige metro was judged as the most boring.

## 8. CONCLUSIONS

The results showed that evaluations, given to the interior colors were influenced only by the color scheme. Sound Volume and Sound Annoyance estimations were influenced only by the noise factor. The overall metro environment assessments of Comfort, Beauty, Pleasantness, and Coziness were influenced by the noise factor, while Stimulation was influenced by the color factor. The Beige metro was judged as the most boring. In all these cases the Naples

metro ratings were lower than those of Berlin and Turin. No gender effect on overall metro environment estimation was discovered.

## BIBLIOGRAPHY

- [1] H. Fastl. Psycho-Acoustics and sound quality. In J. Blauert (Ed.), *Communication Acoustics* (Chapter 6). Berlin: Springer, 2005;
- [2] A. E. J. Hardy. Measurement and assessment of noise within passenger trains. *Journal of Sound and Vibration*, 231(3), 2000, pp. 819-829;
- [3] S. Kuwano, S. Namba, T. Okamoto. Psychological evaluation of sound environment in a compartment of a high-speed train. *Journal of Sound and Vibration*, 227, 2004, pp. 491-500;
- [4] E. Parizet, N. Hamzaoui, J. Jacquemoud. Noise assessment in a high-speed train. *Applied Acoustics*, 63, 2002, pp. 1109-1124;
- [5] G. R. Watts. A comparison of noise measures for assessing vehicle noisiness. *Journal of Sound and Vibration*, 180(3), 1995, pp. 493-512;
- [6] F. Frassinetti, N. Bolognini, E. Ladavas. Enhancement of visual perception by crossmodal visuo-auditory interaction. *Experimental Brain Research*, 147, 2002, 332-343;
- [7] L. Shams, R. Kim. Crossmodal influences on visual perception. *Physics of Life Review*, 7, 2010, pp. 269-284;
- [8] D. H. Warren, T. J. McCarthy, Welch, R. B. Discrepancy and nondiscrepancy methods of assessing visual-auditory interaction. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 33(5), 1983, pp. 413- 419;
- [9] N. Alexeeva, M. Masullo, F. Ruotolo, V. P. Senese. Comparison of Audio-only and Audio-Video Approaches to Acoustic Discomfort Assessment in Public Transportation Systems. In proceedings of Forum Acusticum 2011, Aalborg, Denmark, 27 June-1 July 2011, P: 6;
- [10] D. Menzel, H. Fastl, R. Graf, J. Hellbrück. Influence of vehicle color on loudness judgments. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123(5), 2008, pp. 2477-2479;
- [11] E. Parizet, V. Koehl, Influence of Train Colour on Loudness Judgments. *Acta Acustica united with Acustica*, Volume 97, Number 2, March/April 2011 , pp. 347-349(3);
- [12] T. Samara. Guida agli stili tipografici. Spunti per la scelta dei caratteri nella grafica e nel design. Il Castello srl, Trezzano sul Naviglio, 2006;
- [13] H. Fastl, E. Zwicker, *Psychoacoustics. Facts and Models* (3rd edition). Berlin, Germany: Springer Series in Information Sciences, 2007;
- [14] M. Bisson, C. Boeri, *Variazioni sul colore*, Franco Angeli, Milano, 2006;
- [15] L. Luzzatto, R. Pampas, *Il colore persuasivo*, Il castello Milano, 2001;
- [16] L. Sivik, C. Taft, On studying colour combinations : some reflexions and preliminary experiments, *University of Goteborg, Psychological Reports Vol 19*, 1989;
- [17] L. Sivik, C. Taft, Colour combinations and associated meanings: semantic dimension and color chords, *University of Goteborg, Psychological Reports Vol 22*, 1992.



**<sup>1</sup>Marta Fibiani**  
marta.fibiani@entecra.it  
**<sup>2</sup>Giuseppe L. Rotino**  
giuseppoleonardo.rotino@entecra.it  
**<sup>3</sup>Laura Toppino**  
laura.toppino@entecra.it  
**<sup>3</sup>Giuseppe Mennella**  
giuseppe.mennella@entecra.it  
**<sup>1</sup>Roberto Lo Scalzo**  
roberto.loscalzo@entecra.it

<sup>1</sup> CRA-IAA, Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Unità di Ricerca per i Processi dell'Industria Agroalimentare  
<sup>2</sup> CRA-ORL, Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Unità di Ricerca per l'Orticoltura  
<sup>3</sup> CRA-ORT, Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Centro di Ricerca per l'Orticoltura

# Pigment variation by colorimetric analysis in raw, grilled and boiled eggplant (*Solanum melongena* L.) fruits

## 1. INTRODUCTION

Eggplant fruit is known for its high content in phenolic compounds, which are plant secondary metabolites thought to be related to its antioxidant capacity and beneficial effects on human health [1] [2] [3] [4]. Phenolic compounds in pulp are mainly represented by chlorogenic acid and other caffeoyl-esters [1], while anthocyanins are the pigments conferring the purple colour of the peel.

In the plants, anthocyanins display a wide range of structures, due to different hydroxyl and methoxyl groups, glycosylation and acylation of the aglycone moieties. Thus, the chemical composition along with the medium conditions differently affected the colour and stability of anthocyanins. Eggplant anthocyanins have simple profiles generally characterized by a single delphinidin-glycoside [5] [6]. Delphinidin is the most hydroxylated and one of the most unstable, as the increasing hydroxylation on the B-ring shifts to longer wavelengths its maximum visible absorption, nevertheless destabilizing the molecule [5] [7].

In particular, the ortodiphenolic structure increases the total antioxidant activity [8] [9] [10], but makes the molecule a better substrate for polyphenol oxidase [11] [12] [13].

Anthocyanins are also known to be, unlike other phenolic compounds, deeply affected by heating [14] [15] [16]. It is also reported that techniques involving a partial/mild heating can increase the yield during anthocyanins recovery, due to a protective effect during extraction or a better solubilization [16] or to the inactivation of degradative enzymes [17].

Processing and cooking practices can deeply modify physicochemical characteristics of raw vegetables, thus affecting their nutritional quality and antioxidant activity. Generally, eggplant fruits have to be cooked before eating, and although total antioxidant capacity and flesh polyphenols can be unaltered or even increased by cooking [18] [19] [20], peel anthocyanin pigments can be reduced [20].

This study reports about the global fate of eggplant pigments after thermal treatment. The modifications on methanolic extracts of raw and cooked fruits of three genotypes assayed with colorimetric and HPLC analyses are presented and discussed.

## 2. MATERIALS AND METHODS

Eggplant fruits of "Tunisina", "Buia" and "L 305" genotypes belonging, respectively, to the "Round, Violetta pale-purple", "Oval, deep purple-black" and "Long, deep purple" typologies were harvested at the commercial ripening stage in the experimental field of CRA-ORL in Montanaso Lombardo (Lodi, Italy).

The assayed genotypes differentiate for the peel anthocyanins composition, being the deep purple non-Japanese types "Buia" and "L 305" characterized by delphinidin-3-rutinoside (D3R; mw 611), while the lighter purple Japanese type "Tunisina" is characterized by nasunin, a more complex delphinidin-3-(p-coumaroylrutinoside)-5-glucoside (mw 920), occurring in cis and trans configuration [6] [21].

Selected fruits were randomly divided into three portions and sliced: one portion left untreated (raw), the others employed in grilling and boiling processing, as described by Lo Scalzo et al. [20]. Raw, grilled and boiled samples were lyophilised. The shaken and subsequently centrifuged extracts of 800 mg of eggplant powder with 30 ml of 3% trifluoroacetic acid in MeOH were obtained according to Ichiyanagi et al. [21] with modifications.

CIE L\*a\*b\*, Chroma\* and hue colorimetric coordinates were recorded with a reflectance spectrophotometer (Konica Minolta Spectrophotometer CM-2600d), adapted for a liquid sample. The reflectance spectra of the extracts between 360 and 740 nm with an interval of 10 nm were obtained; the absorbance spectra were calculated according to the following equation:

$$\text{absorbance} = \log(100/\text{reflectance})$$

A blank consisting of the solvent was also measured, and the corresponding values were subtracted to samples values.

Moreover, the absorbance spectra in the visible region, the total anthocyanin content and total monomeric anthocyanins were evaluated through the traditional spectrophotometry, with an UNICAM UV/Vis spectrophotometer (1-cm pathlength cuvette).

The whole spectra of extracts, 5-fold diluted with 1% HCl in MeOH, were plotted, then the total anthocyanin content (TA) was measured according to the Beer-Lambert equation,

using the maximum absorbance (541-543 nm) deducted with the absorbance at 700 nm for haze correction, and using the delphinidin-3-glucoside molar absorptivity ( $\epsilon = 29000$ ) reported in Giusti and Wrolstad [22].

Monomeric anthocyanins (MA) were estimated by a pH-differential method [22], diluting 4-fold the methanolic extracts in aqueous buffers pH 1 and 4.5 and using the cyanidin-3-glucoside absorptivity ( $\epsilon = 26900$ ).

Single anthocyanin pigments (SA) present in the extracts, 10-fold diluted with acetic acid, were also assayed by HPLC separation, in a Jasco system equipped with a Inertsil ODS-3 column (4.6 x 250 mm). The mobile phase consisted of 5% acetonitrile in MeOH (solvent A) and 5% acetonitrile in H<sub>2</sub>O (solvent B). Elution was performed at a flow rate of 0.7 mL/min at 40°C by the following linear gradient steps: start condition 10%A-90%B, kept for 5 min, then 75%A-25%B in 25 min, then 10%A-90%B in 5min, kept for 10 min. Cis- and trans-nasunin (536 nm, RT 16.5 and 17.0 min respectively) and D3R (526 nm, RT 7.8 min) were measured and quantified by comparison to a calibration curve of external standards of purified nasunin and D3R, as described by Lo Scalzo et al. [20]. Anthocyanin contents were expressed in mg/100 g fruit dw.

### 3. RESULTS

Extracts obtained from the different samples are shown in figure 1.

The extracts of non-Japanese types “Buia” and “L 305”, containing D3R, revealed a much deeper colour both in raw and cooked samples with respect to the Japanese type “Tunisina”, containing nasunin. As expected, cooked samples differed from raw ones not only for lower intensity but also in hue, being the grilled ones browner.

The visual observations well matched with colour coordinates (table 1).

In fact, in the raw samples the red component ( $a^*$ ) and colour saturation ( $C^*$ ) values were in the non-Japaneses on average twice as high as “Tunisina” (2-fold for  $a^*$ , and 1.8-fold for  $C^*$ , respectively), while the lighter purple of “Tunisina”

peel fitted with the slight higher value of extract lightness ( $L^*$ ) with respect to non-Japaneses (39.2 vs 35.3 on average). After cooking, the red component and the saturation were depleted, while  $L^*$  and  $b^*$  values increased.

As summarized by the magnitude of the total colour difference ( $\Delta E_{00}$ ) between cooked and raw samples, calculated according to CIEDE2000 equation [23] [24], the boiled samples always had minor variations than grilled ones with respect to raw samples (on average 3.3 vs 7.2), with boiled “Tunisina” showing almost no variations (table1).

The higher colour intensity in non-Japanese types with respect to “Tunisina” was kept also in all cooked samples, even if with different proportions. In fact, in grilled samples,  $a^*$  values of non-Japaneses were further increased with respect to “Tunisina” (on average 2.7-fold) while  $C^*$  (including the  $b^*$  values) was almost the same (on average 1.8-fold), and in boiled samples, due to the little variation of “Tunisina”,  $a^*$  and  $C^*$  of non-Japaneses were less different with respect to “Tunisina” (1.5- and 1.3-fold, respectively).

Even if different molar absorptivities in different anthocyanins may occur, the colour intensity exactly reflected the pigment amounts revealed by spectrophotometric and HPLC measurements (table 2), thus the data gathered using the three methods were in good agreement with each other.

In fact, in raw eggplants the average content of anthocyanin considering the different assays (TA, MA and SA) was 105 mg/100g for “Tunisina”, 201 for “Buia” and 185 for “L 305”.

After grilling, an overall average of only 35% of anthocyanins was recovered, while after boiling the retention was greater (55%). Furthermore, “Tunisina” anthocyanins always showed a higher stability with respect to non-Japanese ones, in agreement with the lower  $\Delta E_{00}$  values obtained (table1).

The values of  $L^*$ ,  $a^*$  and  $C^*$  colorimetric coordinates were significantly correlated with anthocyanin contents, being  $a^*$  and  $C^*$  the highest positively correlated, and  $L^*$  negatively correlated (table 3).

Figure 1 - Raw, grilled and boiled eggplant extracts (3% TFA in MeOH)



Table 1 - Colorimetric coordinates of eggplant extracts.  $\Delta E_{00}$  = total colour difference of cooked vs raw samples.

		L*	a*	b*	C*	h°	$\Delta E_{00}$
<b>Tunisina</b>	<b>raw</b>	39.2	5.2	-2.3	5.7	336.1	.
	<b>grilled</b>	40.1	1.4	1.9	2.4	54.9	6.1
	<b>boiled</b>	39.6	4.2	-2.0	4.7	334.9	1.2
<b>Buia</b>	<b>raw</b>	35.4	10.7	-2.9	11.1	345.0	.
	<b>grilled</b>	38.1	4.1	1.6	4.4	21.8	7.8
	<b>boiled</b>	37.8	6.0	-1.2	6.1	349.1	5.0
<b>L 305</b>	<b>raw</b>	35.2	9.5	-2.2	9.8	347.0	.
	<b>grilled</b>	38.2	3.5	1.9	4.0	27.7	7.6
	<b>boiled</b>	37.2	6.2	-0.7	6.2	353.4	3.8

Table 2 - Total (TA) and monomeric (MA) anthocyanin content measured by spectrophotometric assays, and single anthocyanins (SA) by HPLC assay (see text); anthocyanin retention percentage of cooked vs raw samples.

<sup>1</sup> nasunin; <sup>2</sup> D3R

		TA (spectr)		MA (spectr)		SA (HPLC)	
		mg/100g dw	% ret. vs raw	mg/100g dw	% ret. vs raw	mg/100g dw	% ret. vs raw
<b>Tunisina</b> <sup>1</sup>	<b>raw</b>	121	.	88	.	107	.
	<b>grilled</b>	51	42	41	47	37	35
	<b>boiled</b>	87	72	72	81	70	66
<b>Buia</b> <sup>2</sup>	<b>raw</b>	231	.	158	.	214	.
	<b>grilled</b>	80	35	60	38	52	24
	<b>boiled</b>	100	43	73	46	79	37
<b>L 305</b> <sup>2</sup>	<b>raw</b>	207	.	146	.	202	.
	<b>grilled</b>	77	37	52	36	46	23
	<b>boiled</b>	120	58	76	52	91	45

Table 3 - Correlation indices between colorimetric coordinates and anthocyanin contents.

\* : p<0.0025; \*\* : p< 0.001; \*\*\* : p< 0.0005

	L*	a*	b*	C*	h°
<b>TA</b>	-0.884 **	0.974 ***	-0.749	0.987 ***	0.615
<b>MA</b>	-0.846 *	0.961 ***	-0.782	0.978 ***	0.629
<b>SA</b>	-0.848 *	0.954 ***	-0.769	0.973 ***	0.630

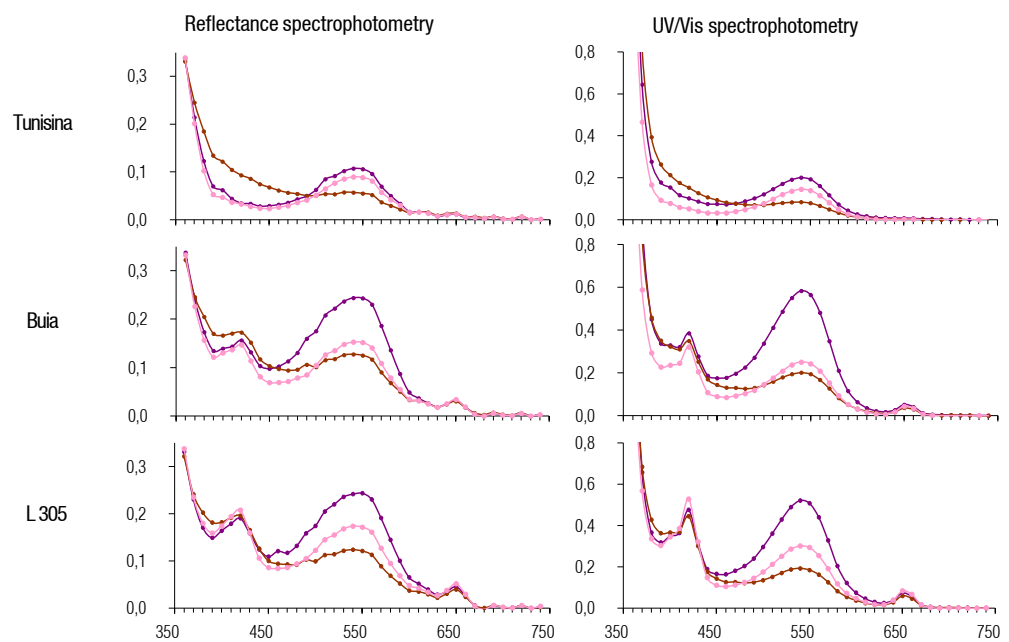


Figure 2 – Comparison of absorbance spectra of eggplant extracts obtained by reflectance spectrophotometry and UV/Vis spectrophotometry (see text). In the x-axis the wavelength (350-750nm); in the y-axis the absorbance arbitrary units. Purple line: raw eggplant; brown line: grilled eggplant; pink line: boiled eggplant.

The variations in visible spectrum were not limited to the anthocyanins region (around 540 nm) but involved all the other regions as well (figure 2).

Reflectance and absorbance spectra generally well matched all over the visible region, describing the same trends in raw and cooked eggplants extracts.

The raw non-Japanese types showed two distinct additional peaks, at 420 and 650 nm, identifiable in both spectra types, while a third minor peak or shoulder, nearly at 400 nm, was just evident only in absorbance spectra (original scans, not shown).

These additional peaks were less influenced by cooking with respect to those of the anthocyanins, being little the optical density variations at 400 and 420 nm both in reflectance and in absorbance spectroscopy (on average 104 % for grilled samples, and 96 % for boiled ones).

A further extraction with n-hexane revealed, in absorbance spectroscopy, the almost complete disappearance of these peaks in the hydrophylic fraction (data not shown), giving the chance to state that these compounds have a lipophylic nature, hence related to other pigments instead of phenolics.

In reflectance spectrophotometry the Japanese type "Tunisina", showing no additional peaks, nevertheless showed a marked increase in optical density at 370-490 nm after grilling with respect to raw and boiled samples.

#### 4. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Anthocyanin quantifications carried out by spectrophotometry and by HPLC separation were in good agreement.

Unlike other phenolic compounds such as caffeic acid derivatives, eggplant anthocyanins were strongly depleted after cooking, being boiling (a mild heating process) more preservative than grilling.

Nasunin, the anthocyanin detected in "Tunisina", was in percentage more retained than non-Japanese anthocyanin D3R, particularly in boiling process.

Total anthocyanin content (TA) of methanolic extracts gave an overestimation with respect to monomeric anthocyanins (MA) and single anthocyanins (SA) by HPLC analysis. These differences were greater in cooked samples (tab.2), because copigmentation and formation of new compounds may occur after cooking [5]. Colorimetric coordinates well monitored colour modifications due to anthocyanins depletion, showing a decrease of  $a^*$  value and an increase of  $b^*$  value after cooking: this is in agreement with the loss of the delphinidin-related red-

blue colour. In fact, the total colour difference  $\Delta E_{00}$  was highly correlated with the retention of anthocyanins after cooking ( $r = -0.982$ ,  $p < 0.0005$ ).

Thermal treatments caused a strong depletion of the eggplant anthocyanins. It is known that the stability of anthocyanins is influenced by its total amount and the simultaneous presence of different types of anthocyanins. In particular, Hayashi et al. [14], investigating a number of vegetable and fruit, evidenced the positive relationship between the colour stability of anthocyanins subjected to heating and the number and acylation of anthocyanins. Eggplant, having a very simple anthocyanin profile characterized by a single anthocyanin, was one of the most unstable. Our results were in accordance to Hayashi et al. [14] findings, also with regards to the acylated anthocyanin nasunin, which was more stable than D3R, its non-acylated derivative.

Lipophylic compounds observed at 400-420 nm in non-Japanese types showed a better resistance to thermal treatments than anthocyanins, this indicates that they could belong to carotenoids and other pigments, whose presence in eggplant fruits has been previously reported [25] [26] [27].

Grilled "Tunisina" had the lowest anthocyanin loss with respect to grilled "Buia" and "L 305", but the highest percentage loss of  $a^*$  value with a marked increase in optical density at 370-490 nm. Probably,  $a^*$  value is positively correlated to anthocyanin and also to other pigments such as melanoidins which are affected by heating.

Therefore, the browning process consequent to grilling seems different from enzymatic or non-enzymatic browning of pulp and juices, that is generally associated to an increase of  $a^*$  value and to a loss of lightness [28].

In conclusion, colorimetric and HPLC analysis of methanolic eggplant extracts were equally suitable to describe the global fate of fruit eggplant pigments after thermal treatments.

#### BIBLIOGRAPHY

- [1] Singh A.P., Luthria D., Wilson T., Vorsa N., Singh V., Banuelos G.S., Pasakdee S. Polyphenols content and antioxidant capacity of eggplant pulp. *Food Chem.* 2009, 114: 955-961.
- [2] Hanson P.M., Yang R., Tsou S.C.S., Ledesma D., Engle L., Lee T. Diversity in eggplant (*Solanum melongena*) for superoxide scavenging activity, total phenolics, and ascorbic acid. *J. Food Comp. Anal.* 2006, 19: 594-600.
- [3] Matsubara K., Kaneyuki T., Miyake T., Mori M. Antiangiogenic activity of nasunin, an antioxidant anthocyanin, in eggplant peels. *J. Agric. Food Chem.* 2005, 53: 6272-6275.
- [4] Noda Y., Kaneyuki T., Igarashi K., Mori A., Packer L. Antioxidant activity of nasunin, an anthocyanin in eggplant peels. *Toxicology* 2000, 148: 119-123.

- [5] Mazza G., Miniati E. Anthocyanins in fruits, vegetables, and grains, CRC Press Inc., Boca Raton, FL, 1993.
- [6] Azuma K., Ohyama A., Ippoushi K., Ichianagi T., Takeuchi A., Saito T., Fukuoka H. Structures and antioxidant activity of anthocyanins in many accessions of eggplant and its related species. *J. Agric. Food Chem.* 2008, 56: 10154-10159.
- [7] Ioncheva N., Tanchev S. Kinetics of thermal degradation of some anthocyanidin-3,5-diglucosides. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 1974, 155: 257-262.
- [8] Rice-Evans C.A., Miller N.J., Paganga G. Structure-antioxidant relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radic. Biol. Med.* 1996, 20: 933-956.
- [9] Wang H., Cao G., Prior R.L. Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins. *J. Agric. Food Chem.* 1997, 45: 304-309.
- [10] Thavasi V., Leong L.P., Bettens R.P.A. Investigation of the influence of hydroxy groups on the radical scavenging ability of polyphenols. *J. Phys. Chem. A* 2006, 110: 4918-4923.
- [11] Sakamura S., Obata Y. Anthocyanase and anthocyanins occurring in eggplant, *Solanum melongena* L. (I). *Agr. Biol. Chem.* 1961, 25: 750-756.
- [12] Sakamura S., Watanabe S., Obata Y. Anthocyanase and anthocyanins occurring in eggplant, *Solanum melongena* L. (III). Oxidative decolorization of the anthocyanin by polyphenol oxidase. *Agr. Biol. Chem.* 1965, 29: 181-190.
- [13] Pérez-Gilabert M., García Carmona F. Characterization of catecholase and cresolase activities of eggplant polyphenol oxidase. *J. Agric. Food Chem.* 2000, 48: 695-700.
- [14] Hayashi K., Ohara N., Tsukui A. Stability of anthocyanins in various vegetables and fruits. *Food Sci. Technol., Int.* 1996, 2: 30-33.
- [15] Havlíková L., Míková K. Heat stability of anthocyanins. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 1985, 181: 427-432.
- [16] Cacace J.E., Mazza G. Optimization of extraction of anthocyanins from black currants with aqueous ethanol. *J. Food Sci.* 2003, 68: 240-248.
- [17] Brambilla A., Lo Scalzo R., Bertolo G., Torreggiani D. Steam-blanching highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) juice: phenolic profile and antioxidant capacity in relation to cultivar selection. *J. Agric. Food Chem.* 2008, 56: 2643-2648.
- [18] Yamaguchi T., Mizobuchi T., Kajikawa R., Kawashima H., Miyabe F., Terao J., Takamura H., Matoba T. Radical-scavenging activity of vegetables and the effect of cooking on their activity. *Food Sci. Technol. Res.* 2001, 7: 250-257.
- [19] Jiménez-Monreal A.M., García-Diz L., Martínez-Tomé M., Mariscal M., Murcia M.A. Influence of cooking methods on antioxidant activity of vegetables. *J. Food Sci.* 2009, 74: H97-H103.
- [20] Lo Scalzo R., Fibiani M., Mennella G., Rotino G.L., Dal Sasso M., Culici M., Spallino A., Braga P.C. Thermal treatments of eggplant (*Solanum melongena* L.) increases the antioxidant content and the inhibitory effect on human neutrophil burst. *J. Agric. Food Chem.* 2010, 58: 3371-3379.
- [21] Ichianagi T., Kashiwada Y., Shida Y., Ikeshiro Y., Kaneyuki T., Konishi T. Nasunin from eggplant consists of cis-trans isomers of delphinidin 3-[4-(p-coumaroyl)-L-rhamnosyl (1-6)glucopyranoside]-5-glucopyranoside. *J. Agric. Food Chem.* 2005, 53: 9472-9477.
- [22] Giusti M.M., Wrolstad R.E. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. Eds.: Wrolstad R.E., Acree T.E., Decker E.A., Penner M.H., Reid D.S., Schwartz S.J., Shoemaker C.F., Smith D.M., Sporns P. In: *Current protocols in food analytical chemistry*. Hoboken, NJ, USA: Wiley & Sons, Inc; 2001. p F 1.2.1-F 1.2.13
- [23] CIE. Improvement to industrial colour-difference evaluation. Vienna: CIE Publication No. 142-2001, Central Bureau of the CIE, 2001.
- [24] [www.bruceindbloom.com](http://www.bruceindbloom.com)
- [25] Aruna G., Mamatha B.S., Baskaran V. Lutein content of selected Indian vegetables and vegetable oils determined by HPLC. *J. Food Comp. Anal.* 2009, 22: 632-636.
- [26] El-Qudah J.M. Identification and quantification of major carotenoids in some vegetables. *Am. J. Applied Sci.* 2009, 6: 492-497.
- [27] Yoshikawa K., Inagaki K., Terashita T., Shishiyama J., Kuo S., Shankel D.M. Antimutagenic activity of extracts from Japanese eggplant. *Mut. Res.* 1996, 371: 65-71.
- [28] Zuo L., Seog E.J., Lee J.H. Effects of ascorbic and citric acids on CIE color values of fresh-cut apples cubes. *J. Food Tech.* 2008, 6: 20-24.



# Measured color changes under fluorescent and LED lamps

<sup>1</sup>Laura Bellia  
bellia@unina.it  
<sup>1</sup>Nicola Agresta  
<sup>1</sup>Luigi Rossi  
<sup>1</sup>Gennaro Spada

<sup>1</sup>DETEC, Università degli Studi di Napoli "Federico II"

## 1. INTRODUCTION

In the field of electric lighting, the increasing popularity and spread of the LED sources, together with the availability of traditional lamps with different spectral characteristics, compels the designer to consider in his choices not only aspects related to energy saving, but also to take into account lighting quality, meaning for it a correct and pleasant perception of the surrounding environment [1],[2],[3].

Once fixed the values of illuminance and luminance distributions, the parameters that characterize the sources regarding quality of light, according to European Standard EN 12464-1[4], and that strongly influence the perception of objects and colors are the color appearance, identified by Correlated Color Temperature (CCT), and Color Rendering Index (CRI). However in presence of sources with similar CCT and CRI but with different Spectral Power Distributions (SPD), different perceptual effects occur [5],[6],[7].

In this paper, the effects of two kind of sources, fluorescents and LEDs, both with high CRI, are examined by means of color measures on different objects.

## 2. EXPERIMENTAL SET-UP

### 2.1. DESCRIPTION OF THE TEST ROOM AND LIGHT SOURCES

The test room is quite 3.00m x 3.00m x 3.00m with completely blank walls ( $\rho_M = 70\%$ ) and a false ceiling with controlled lights. The furniture consists in a desk with a chair centrally located in respect to the lights. Luminaires consist in 2 fluorescent and 4 LED sources. Technical characteristics of each LED and fluorescent source provided by manufacturer are shown in the Table 1.

	Fluorescent	LED
<b>Lamp</b>	4xT16/24W	1x1824/27W
<b>Luminous flux</b>	7000 lm	1824 lm
<b>Efficacy</b>	49 lm/W	64 lm/W
<b>CRI</b>	1B (80<Ra<90)	90-91

For the characterization of the sources, a Konica-Minolta CS2000 spectroradiometer was used; the instrument was pointed towards the lamps to obtain the SPDs.

### 2.2. DESCRIPTION OF LIGHT SCENES

	CCT [K]	Dim [%]	$E_m$ [lux]
<b>Fluo 2700K</b>	2924	100	653
<b>Fluo 3000K</b>	3011	93	549
<b>Fluo 4000K</b>	4178	94	558
<b>Fluo 6500K</b>	7100	100	621
<b>LED 2900K</b>	2940	97	634
<b>LED 3150K</b>	3020	94	545
<b>LED 4200K</b>	4199	95	548
<b>LED 6100K</b>	7195	100	628

Lights are connected to Luxmate Emotion information system by Zumtobel. Thanks to this device, it was possible to dim both lighting emissions and change color temperature, in order to obtain 8 light scenes with similar illuminance values on the desk, measured with 2 Konica-Minolta T10 lux meters centrally

Table 1 – Technical characteristics of luminaires

Table 2 – Light scenes set-up

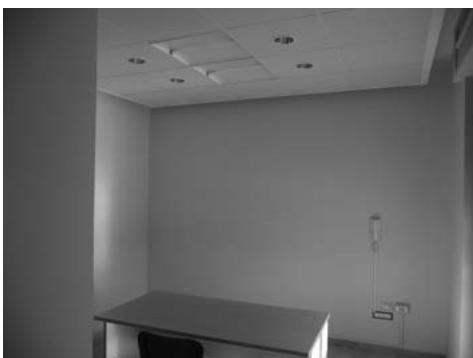


Figure 1 – Test room

Figure 2 – View of the false ceiling

Figure 3 – SPD Fluorescent 2700K (A), 3000K (B), 4000K (C) and 6500K (D).

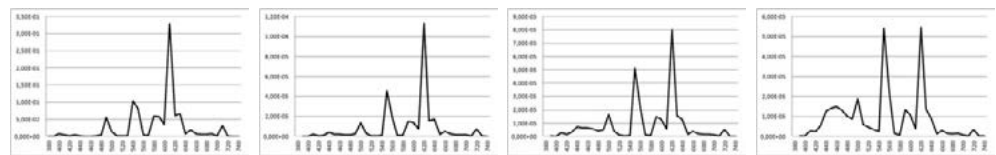
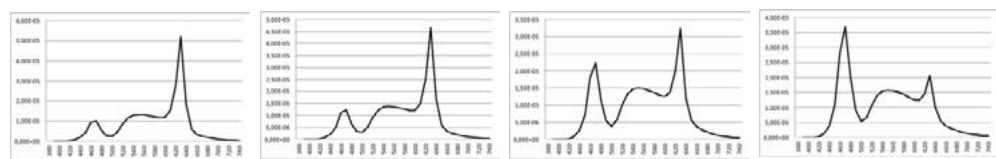


Figure 4 – SPD LED 2900K (A), 3150K (B), 4200K (C) and 6100K (D).



located in respect to the lights.

The following analyses have shown that light scenes with intermediate CCT (Fluo 3000K, Fluo 4000K, LED 3150K and LED 4200K) reported results less interesting than the other scenes: so only the results of Fluo 2700K and 6500K, LED 2900K and 6100K will be shown. As in Table 2, Fluo 2700K and LED 2900K scenes have nearly the same measured CCT, as also Fluo 6500K and LED 6100K: since now, “warm lights” will be referred to first ones while “cold lights” will be referred to second ones.

**2.3. DESCRIPTION OF COLORED OBJECTS**

On the desk 6 different colored objects (LEGO® blocks) were placed: blue, light blue, green, yellow, orange, red. For each one of them, spectral reflectance and color coordinates under illuminant D65 were measured.

Table 3 – Color coordinates of LEGO® blocks

	Specular component					
	included			excluded		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
<b>Blue</b>	45.68	-7.48	-41.96	42.35	-8.55	-44.87
<b>Light blue</b>	63.76	-11.01	-27.64	61.34	-11.79	-28.95
<b>Green</b>	60.43	-51.72	36.90	57.98	-56.32	40.75
<b>Yellow</b>	80.84	8.48	78.32	79.15	8.65	85.39
<b>Orange</b>	66.60	45.37	55.38	63.63	47.94	65.07
<b>Red</b>	42.93	50.12	32.00	30.09	55.06	40.00

**3. ANALYSIS AND RESULTS**

**3.1. SPECTRAL DISTRIBUTION OF REFLECTED LIGHT ANALYSIS**

Spectral reflectance of each colored object was measured with the spectrophotometer; lamps’ SPDs were obtained with the spectroradiometer while spectral distribution of reflected light was obtained pointing the spectroradiometer on each colored object under each light scene. Results are reported in figures 5 – 10 in which not all but just the most interesting cases were represented.

For each figure, diagrams corresponding to (C) show clearly that they are the result of the combination of the previous two: where the block’s spectral reflectance increases or decreases the value of emitted light for those wavelengths in the reflection diagram is

Figure 5 – Blue block spectral reflectance (A), LED 2900K SPD (B) and spectral distribution of reflected light (C). According to the spectral reflectance, in all light scenes red component is reduced while blue one is maximized, even with warm lights as shown in the example.

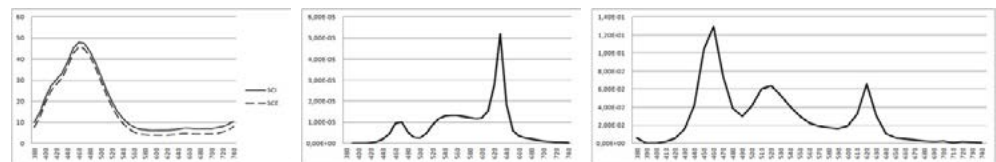


Figure 6 – Light blue block spectral reflectance (A), Fluo 6500K SPD (B) and spectral distribution of reflected light (C). Spectral reflectance shows high values of both blue and red component, increasing block’s reflection values in low and high wavelengths.

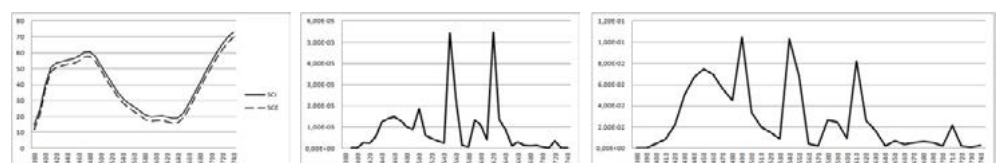
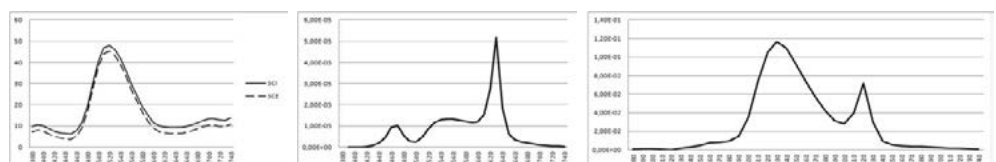


Figure 7 – Green block spectral reflectance (A), LED 2900K SPD (B) and spectral distribution of reflected light (C). Green component of all lights’ SPDs is maximized while blue and red ones are reduced, especially with LEDs.



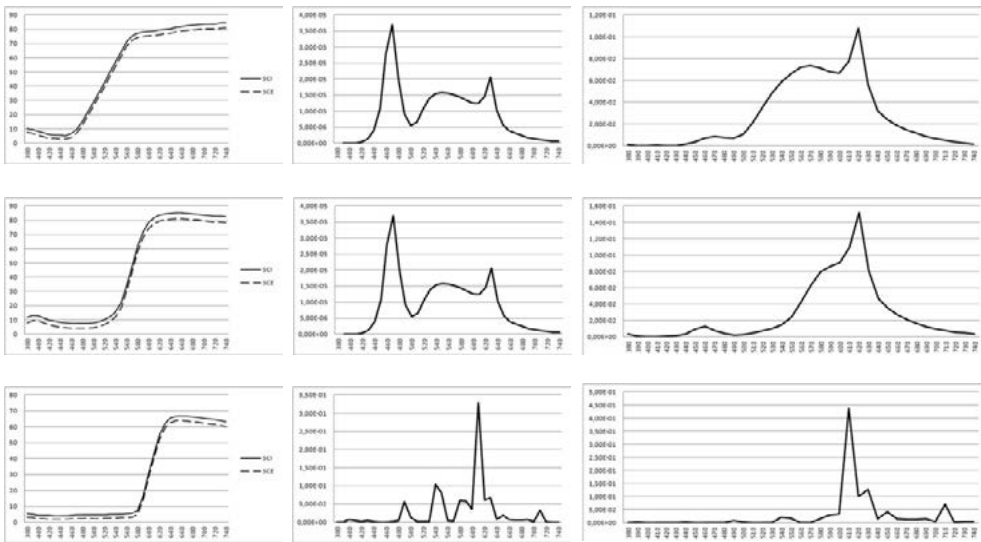


Figure 8 – Yellow block spectral reflectance (A), LED 6100K SPD (B) and spectral distribution of reflected light (C). In these cases, the only notable change between lamps' SPDs and reflection diagrams is the reduction of the blue component.

Figure 9 – Orange block spectral reflectance (A), LED 6100K SPD (B) and spectral distribution of reflected light (C). As for the yellow block, in the reflection diagrams it's just the blue component of lamps' SPDs to be reduced.

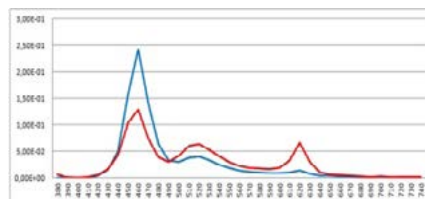
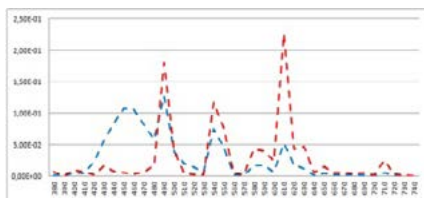
Figure 10 – Red block spectral reflectance (A), Fluo 2700K SPD (B) and spectral distribution of reflected light (C). The red block case is similar to the yellow and orange ones.

amplified or reduced.

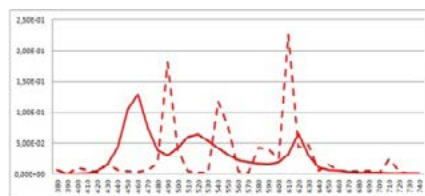
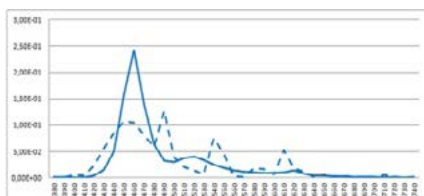
As general rule, we can say that: blue prefers cold lights; light blue is better under cold lights but it doesn't change too much with the other light scenes; green prefers cold lights; yellow is better under warm lights; orange and red are good under every kind of light.

### 3.2. CCT AND TECHNOLOGIES COMPARISONS

After that, for each color two different comparisons were made: Correlated Color Temperature with the same technology and technology comparison with the same CCT. This analysis helped to find the best and the worst kind of light for each color.

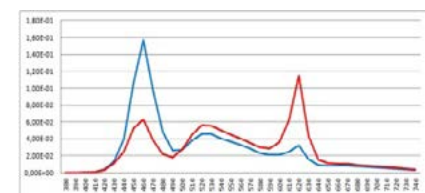
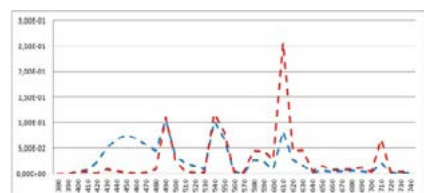


CCT comparison for blue

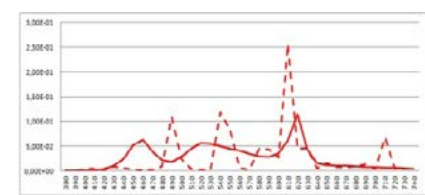
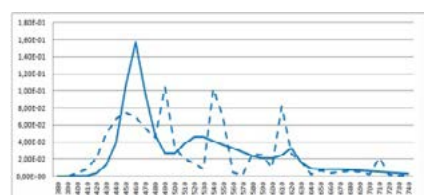


Technologies comparison for blue

— Fluo 2700K — Fluo 6500K — LED 2900K — LED 6100K



CCT comparison for light blue



Technologies comparison for light blue

— Fluo 2700K — Fluo 6500K — LED 2900K — LED 6100K

Figure 11 – Fluo 6500K lamp has a wide range of blue wavelengths while Fluo 2700K lamp have peaks in other colours; LEDs have quite the same trend but with higher values for blue and lower for red compared to the fluorescent sources. Cold lights are preferred, with LED 6100K as best source and Fluo 2700K as worst.

Figure 12 – As for blue, in light blue reflection diagrams fluorescent sources have other colour components while LEDs don't have the previous trend, with LED 2900K having a peak in red. Technologies comparison shows how all the lights cover a wide range of wavelengths with a preference for LED 6100K.

Figure 13 – CCT comparison shows how lights with the same technology have quite the same trend for green. However it's possible to observe how cold lights have more green component than warm lights that increase red component. In this case Fluo 6500K has a peak in green wavelengths more than LED as in previous cases

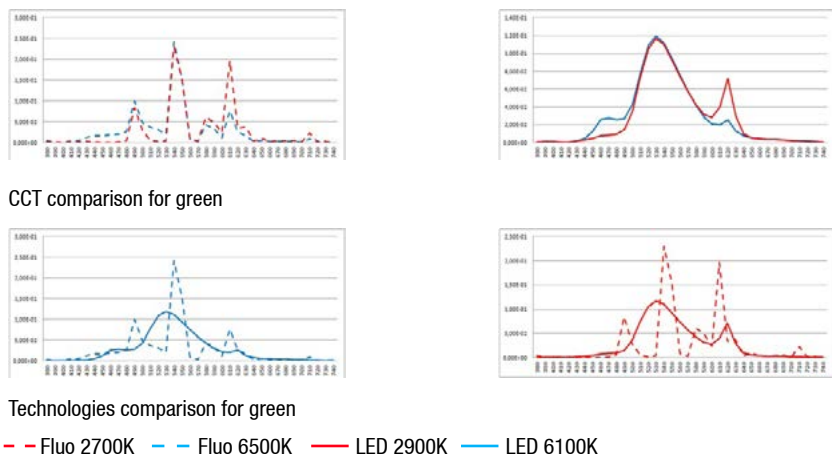


Figure 14 – Considerations made about green reflection diagrams could be applied to yellow's too: CCT comparison shows how lights with the same technology have quite the same trend, with a preference for warm lights. In particular, technologies comparison shows how similar is the trend of the two sources.

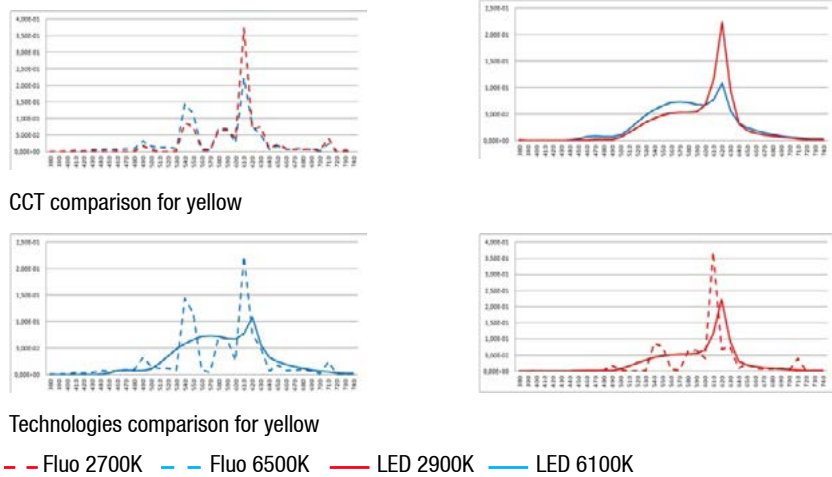


Figure 15 – CCT comparison shows how lights with the same technology have quite the same trend for orange reflection but it's possible to see how cold lights have a wider range of wavelengths than warm lights, in which orange and red component is maximized.

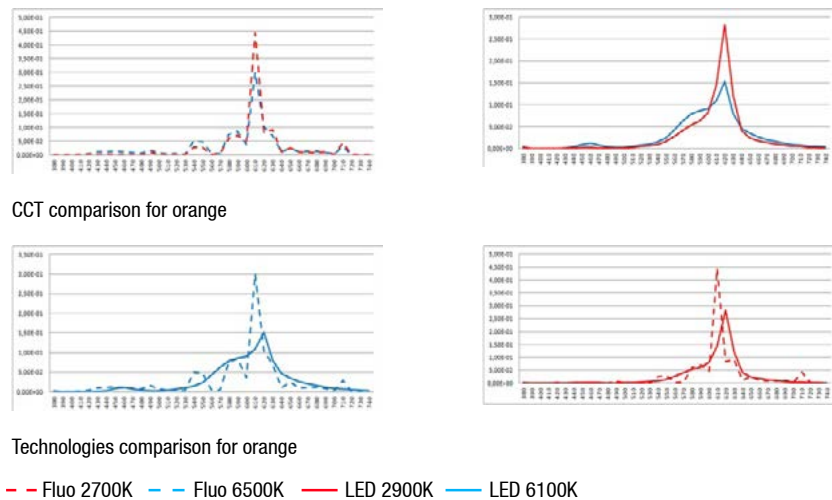
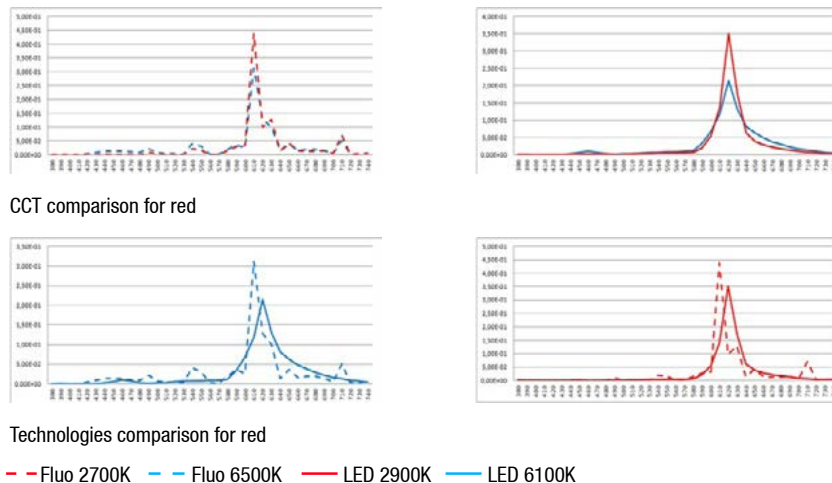


Figure 16 – Considerations made about orange reflection diagrams could be applied to red's: in this case too, warm lights should be preferred to cold ones.



### 3.3. CHANGES OF CHROMATICITY COORDINATES UNDER DIFFERENT LIGHT SCENES

CIE XYZ values of each colored object and XnYnZn of reference white were measured under each light scene and normalized by the reference white to calculate L\*a\*b\* coordinates using CIELAB equations [8].

	L*	a*	b*	C* <sub>ab</sub>	h <sub>ab</sub>
1.Flou 2700K	40.74	-8.44	-32.79	33.86	1.32
2.Flou 6500K	47.09	6.85	-73.70	74.02	-1.48
3.LED 2900K	34.53	-14.15	-65.54	67.05	1.35
4.LED 6100K	45.17	14.12	-60.83	62.45	-1.34

	L*	a*	b*	C* <sub>ab</sub>	h <sub>ab</sub>
1.Flou 2700K	60.43	-10.58	-16.84	19.88	1.01
2.Flou 6500K	63.75	-7.45	-60.21	60.67	1.45
3.LED 2900K	58.57	-17.14	-38.36	42.01	1.15
4.LED 6100K	64.14	-3.68	-34.89	35.08	1.47

	L*	a*	b*	C* <sub>ab</sub>	h <sub>ab</sub>
1.Flou 2700K	51.82	-46.39	40.21	61.39	-0.71
2.Flou 6500K	31.51	-61.32	24.41	66.00	-0.38
3.LED 2900K	46.18	-61.33	37.27	71.77	-0.55
4.LED 6100K	48.58	-64.74	49.76	81.65	-0.65

	L*	a*	b*	C* <sub>ab</sub>	h <sub>ab</sub>
1.Flou 2700K	94.95	10.21	93.53	94.09	1.46
2.Flou 6500K	83.97	-15.51	66.80	68.58	-1.34
3.LED 2900K	95.63	11.18	99.63	100.26	1.46
4.LED 6100K	90.14	-2.03	103.04	103.06	-1.55

	L*	a*	b*	C* <sub>ab</sub>	h <sub>ab</sub>
1.Flou 2700K	90.49	50.73	76.57	91.85	0.98
2.Flou 6500K	77.96	36.99	37.00	52.32	0.78
3.LED 2900K	91.74	49.75	87.60	100.74	1.05
4.LED 6100K	84.26	43.56	80.22	91.29	1.07

	L*	a*	b*	C* <sub>ab</sub>	h <sub>ab</sub>
1.Flou 2700K	68.17	53.04	49.07	72.26	0.75
2.Flou 6500K	56.54	40.84	15.46	43.66	0.36
3.LED 2900K	70.03	62.95	67.73	92.47	0.82
4.LED 6100K	58.95	58.80	51.42	77.11	0.72

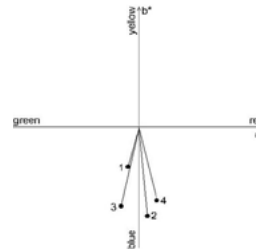


Figure 17 – L\*a\*b\*coordinates, chroma and hue values of blue. As a general rule, fluorescent lamps give less redness-greenness to the perception of the colored object. Brightness is higher with cold lights. It seems that Fluo 6500K is the best one because it maximizes all values, in contrast with previous results (LED 6100K).

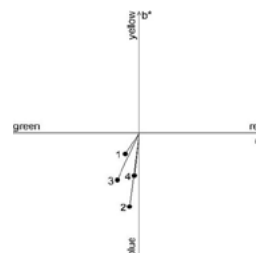


Figure 18 – L\*a\*b\*coordinates, chroma and hue values of light blue. Brightness and hue are slightly higher with cold lights. Chroma is much more higher with Fluo 6500K.

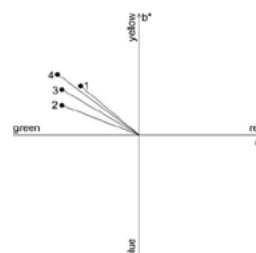


Figure 19 – L\*a\*b\*coordinates, chroma and hue values of green. In this case, every light scene maximizes a different value, so it's not possible to define the best light, as it was noticed in the previous analysis.

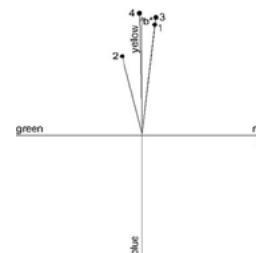


Figure 20 – L\*a\*b\*coordinates, chroma and hue values of yellow. LED 6100K seems to be the best light since all the values are at their maximum, except for brightness that is maximized with warm lights. The only scene completely different from the others is number 2.

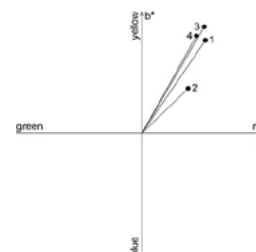


Figure 21 – L\*a\*b\*coordinates, chroma and hue values of orange. As the graphic shows, there is not a big difference between scenes number 1, 3 and 4 (even if LED 2900K maximizes brightness and chroma), with the second scene different from the others once again.

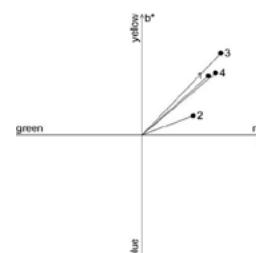


Figure 22 – L\*a\*b\*coordinates, chroma and hue values of red. Looking at the values and the graphic, red is nearer to orange than to the red-a\* axis: in this case too, LED 2900K maximizes brightness, a\* value and chroma. Fluo 2700K and LED 6100K have good values too while Fluo 6500K is the worst light again.



The next diagrams are CCT and technology comparisons among the 4 scenes, showing all color coordinates for each light.

In the CCT comparison, warm lights tend to move to the yellow-red area, even if it's less evident for LEDs. In the second diagram, it's possible to note that LED 2900K reduces the distance among yellow, orange and red coordinates.

In the technology comparison, the diagrams have the same shape, with a bigger chromatic variety for LEDs. For cold lights, LED diagram is also moved towards yellow-red area.

Figure 23 – CCT comparisons between Fluo 2700K and Fluo 6500K (A), LED 2900K and LED 6100K (B).

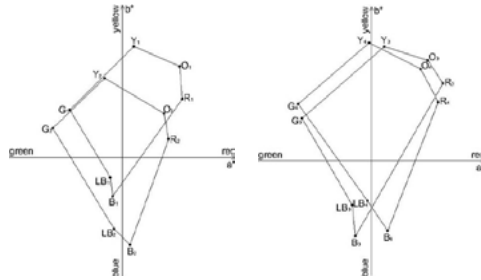
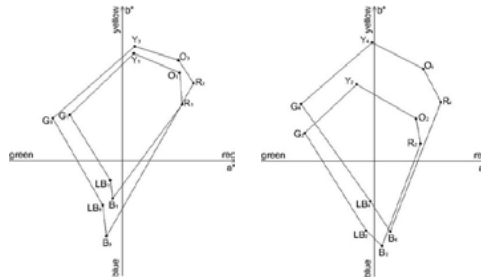


Figure 24 – Technology comparisons between Fluo 2700K and LED 2900K (A), Fluo 6500K and LED 6100K (B).



#### 4. CONCLUSIONS

From the obtained results it can be inferred that:

- different lamps technologies with the same CCT produce different effects on colored objects;
- under the same technology, but with different CCTs, different effects are obtained as well.

Color differences regard chroma, hue and value and, under the same conditions, depend on the spectral reflectance of the considered object.

This study shows that the only use of parameters like CRI and CCT is not enough to evaluate effects on colored objects. Moreover, further research is necessary to compare these results to experimental evaluations.

#### ACKNOWLEDGEMENT

The authors thank Zumtobel for providing luminaires and Luxmate control system.

#### BIBLIOGRAPHY

- [1] Boyce, P. R. (2003). Human factors in lighting (2nd ed.). London: Taylor & Francis.
- [2] Cuttle, C. (2004). Brightness, lightness, and providing a preconceived appearance to the interior. *Lighting Res. and Technol.*, 36(3), 201-216.
- [3] Quality of the Visual Environment Committee. (2009). *Light + design: A guide to designing quality lighting for people and buildings (DG-18)*. New York: Illuminating Engineering Society of North America.
- [4] CEN (2011) - EN 12464-1- Light and Lighting - Light in work places - Part 1: indoor work places. Brussels.
- [5] Boyce PR, Cuttle C.(1990) Effect of correlated colour temperature on the perception of interiors and colour discrimination. *Lighting Res. Technol* 22, 19-36.
- [6] Fotios S.A. (2006) Chromatic adaptation and the relationship between lamp spectrum and brightness. *Lighting Res. Technol.* 38(1), 3-17.
- [7] Navvab MA. (2001). Comparison of visual performance under high and low color temperature fluorescent lamps. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 30: 170–175.
- [8] Fairchild M.D. (2005) *Color Appearance Model*, (2nd ed.). John Wiley & Sons Ltd.

# *De Coloribus*: new perspectives on a series of recipes for making pigments within the *Compositiones lucenses* tradition

Giulia Brun  
giulia.brun@gmail.com

Dastu Department -  
Politecnico di Milano

## 1. INTRODUCTION

This study analyses written records on the making of pigments in Europe since the 8th century and contained in heterogeneous collections. The focal point of the paper is a series of about forty texts on pigment making for wall painting that I have conventionally termed *De coloribus*. It forms a large section of a recipe book on practical arts known as *Compositiones lucenses*, which is the first Western example of literature on artistic and architectural procedures that has ever survived. This collection was compiled between Antiquity and late Antiquity, collecting various sources, in part still fluid and unidentified [1]. The first specimen hails from the beginning of Carolingian times. This is the well-known manuscript 490 held at the Biblioteca Capitolare of Lucca, dated between 796 or 787-816 AD [2]. It comprises 160 titles for buildings foundations, military machines and incendiary mixtures, metal works, glass and skins colourings, dyes, pigments for wall application, descriptions and uses of stones, metal inks for writing, and parchment dyeing. Unlike other ancient and medieval sources, irretrievably lost or not reproduced in a literary diffusion, this recipe book extends beyond Carolingian times and endures in a tradition consisting of several other manuscripts, which can be collectively termed the '*Compositiones lucenses tradition*' (hereafter CLT). Current research indicates that the entire recipe book was transmitted by at least twenty-six manuscripts, most of which represent recent acquisitions. Nevertheless, its contents are seemingly continually changing and subject to reformulations and contaminations. In the subsequent examples, the recipe book exceeds 200 titles, with additions being made since the 9th century. An *Editio minor*, i.e. a specific nucleus of recipes from the *Compositiones lucenses* tradition, has also been circulated and systematically copied in the medieval manuscripts of Vitruvius' *De architectura*, which is the most important work on practical arts and architecture from Antiquity [3].

On the basis of new evidence, the section *De coloribus* on pigments making stands out as one of the most significant parts of the CLT, even though it was copied with much alterations and reshaping, both to its general contents and to the

order of its texts. This study aims to thoroughly investigate this section of the CLT.

## 2. RECIPES OF DE COLORIBUS

The sequence of forty texts in the *De coloribus* may be divided into three sections according to the specific colour pigments described. The product may be obtained using both vegetal and animal substances. In the end, the text informs us about the application on different supports (Figure 1).

The first eight texts describe the preparation of azure pigments and recommends several ingredients: violets, lilies, chelidoniums, and woods. The dosages of flowers and leaves are indicated, as well as how to work them to prepare their pulps for the extraction of dyes. Additional ingredients are also required for different hues and *De coloribus* lists verdigris, cinnabar, saffron, vitriol, white lead, and lime. The latter is probably obtained following the traditional calcination of oyster shell.

The reds of *De coloribus* are made up of two different compounds. One consists of vegetal ingredients added to mixtures of cinnabar or white lead. The other one uses animal ingredients such as the insect Kermes, here named *coccarin* or *vermiculus*, enriched with cinnabar and white lead. In a third section, several recipes refer to the preparations for various hues of *pandius*, which may refer to any mixture made from the combination of several ingredients, the interpretation of which is for the most still unknown to scholars. *De coloribus* lists at least the following ingredients and the quantity needed according to each combination: *lulacin*, cinnabar, white lead, *ficarim*, ochre, burnt copper, *quianus*, reseda luteola, saffron, terra verde, murices decoction, *siricum*, kermes decoction, madder decoction, *phynicis* decoction, galls, *calcitarin*, and so on. A final text that might have served as an *explicit* completes the sequence for pigment making. It provides further indications as to their application on various supports, informing us about the measurements necessary to ensure a good result. *De coloribus* advises that the pigments should be used directly on the wall, but in other cases the product needs to be mixed with wax for wood painting or isinglass for skins supports.

The majority of the recipes have a distinct paratactic structure that sets out all the directions for producing pigments. Ingredients, quantities and instructions are for the most part simply listed, omitting any redundant information. This approach was distinctive of the medieval man and reflects a typical expedient used to meet the interests of a readers' community to which, ideally, a recipe book should have been addressed. Recipes appear to have been an extraordinary vehicle for communicating a practical and useful function, which is almost always stated, although we cannot assume medieval readers always pursued it. At the same time, these written records seem to document only a restricted and limited segment of the practical know-how. Many ingredients are still difficult to identify and the technical progression of practical instructions seems to be overshadowed by an extensive use of cross-references. Formulas such as *sicut superius diximus*, *sicut superius dictum est*, or *sicut supra* are recurring linguistic features employed by scribes to replace superfluous or unnecessary information.

### 3. THE CLT MANUSCRIPTS CONTAINING DE COLORIBUS

The most ancient example of *De coloribus* is the just mentioned Lucca manuscript (Lucca, Biblioteca Capitolare, 490). According to scholars, it was written in the Lucca scriptorium at the turn of the 9<sup>th</sup> century. This is evident by the use of a Lucchese script, the presence of texts written by Lucca's bishop himself, and the contents that chronologically list the compilation between 787 (or 796) and 816 AD [4]. Just after the Lucca manuscript, another witness

was copied at the beginning of 9<sup>th</sup> century and discovered by the librarian of the Augustine library in Klosterneuburg (Klosterneuburg, Stiftsbibliothek, frag. s.n.) [5]. The codex has been seriously damaged and only four parchment folios, in two quires, have survived. Nevertheless, previous studies have assumed that the original collection might have been constituted by at least 119 recipes, given that the second-last recipe is numbered CXVIII [6]. A subsequent proposition comes from a 10<sup>th</sup> century manuscript from the Sélestat library, known to scholars for being a good witness of several texts related to architecture and art, such as Vitruvius' *De architectura*, Cetus Faventinus' *De diversis fabricis architectonicae*, and a collection of alchemical-metallurgic matter entitled *Mappae clavicula* (Sélestat, Bibliothèque Humaniste, 17) [7; 8]. In the 12<sup>th</sup> century, the CLT counts on two manuscripts. The first is the most notorious witness of *Mappae clavicula*, edited in 1847 by its former possessor Sir Thomas Phillipps and now preserved in the Corning museum of Glass (Corning, Museum of Glass, Phillipps 3175) [9; 10]. It comprises three works: a recipe book for illuminators known as *De coloribus et mixtionibus*, the alchemical collection on metals *Mappae clavicula*, and the CLT with significant linguistic modifications and textual additions [11; 12]. Almost coeval to the Corning copy, a Vitruvian manuscript formerly owned by the Queen Christina of Sweden is now conserved at the Vatican Library (Città del Vaticano, Biblioteca Apostolica Vaticana, Reg. lat. 2079) [13]. It is believed that this specimen is one of the most complete and linguistically best witnesses of the CLT [14]. The 13<sup>th</sup> century is rich in further examples. Two English manuscripts embed the CLT with

1. **Compositio lulaci** *Caucallide flore lini in mundi mamma viole duarum duarum supradicta*
2. **Flores neulacis quod grece tapsya dicitur alii camaleunta collige flores et repone et post hec**
3. **Lazurin diforon qui dicitur bifaces** *Flores neulacis comisce cum urina expumata secundum*
4. **Lazurin melini zonta** *Flores neulacis infunde in aceto et compone in vase sicut primum*
5. **Lazurin arinon** *Tolles florem de nealuca et defricas cum sapone sicut superius docuimus*
6. **Lazurin carnei coloris** *Tolle lazurin + I cinnabarin libram unam phymithin libram*
7. **Lazurin hunici zonta** *Tolle psimithin mundum et tritum libram unam lazurin + I*
8. **Lazurin ethizonta** *Tolle neulacis flores unctum ex sapone sicut superius lib. I et pone*
9. **Luseum vero de tribus spetiebus componitur hec concoquitur sic tolle lacca teres utiliter et**
10. **Compositio alithini** *Flores papaveris tribula et exprime et humorem qui exierit + I cinnabarin*
11. **A(lia) Cinnabarin + I lulacis sol II psimithin sol I trita bene repone ad solem**
12. **Alia compositio** *Vermiculi libras III vermiculi terreni qui in folia cedri nascitur libram unam*
13. **Alia compositio vermiculi** *Mitte vermiculi libram unam cocccarin libram I cocccarin nascitur*
14. **Item alia compositio vermiculi** *Vermiculi libram dimidiam alius vermiculi + VI lulaci + VI*
15. **De pandio lulacin** *Pandium luracin libras duas cinnabarin libram unam psimithin*
16. **Aliud pandium** *Lulacin libras II cinnabarin vero principalis lib. I lazurin lib. I*
17. **Alia compositio** *Lulacin + III psimithin + VIII*
18. **Item alia compositio** *Lulacin + I ficarin + I quianus + I pandius lib. psimithin lib. I*
19. **Alius pandius** *Quianus lib. I ocrea lib. II omnia trita comisce cum urina expumata*
20. **Item alius pandius** *Quianus lib. I calcuce caume tritum pulverem + I ficarin + ocrea + I*
21. **Primus pandius cinnabarin coloris** *Cinnabarin lib. I herbe luzie coctionem lib. I croco claro*
22. **Pandius cinnabarin** *Coloris cinnabarin + VI lacca autem decoctioni iotta crocum et VI*
23. **Pandius cinnabarin + I incausta spetiarum tritum + I tereris comisce et reponens in vase vitreo**
24. **Pandia vocantur omnes colores** *Pandius cinnabarin + I et sta teres bene in mortario et*
25. **Pandius viridis** *Terra viride + II cinnabarin + II terra comisce ac repone quem ad modum*
26. **Item pandius viridis** *Terra viride lib. I cinnabarin + I psimithin sol II ista teres in mortario*
27. **Item pandius viridis** *Terra viride lib. I ocrea + I cinnabarin + I trita et commixta omnia cum*
28. **Pandius ocrei coloris** *Ocrea munda lib. I cinnabarin z I ficarin sol. III omnia trita in*
29. **Pandius purpurei coloris** *Pandius purpurei coloris compositus ex III speciebus lulacin lacca*
30. **Pandius porphyrius iotta decoctionis conchilii lib.** *I cinnabarin + I siricum mundum + I omnia*
31. **Pandius porphyrius iotta conchilii libra I cinnabarin lib. II crocum + II omnia trita comisce**
32. **Pandius porphyrius iotta conchilii cinnabalin + I iotta de lacca et terens primum cinnabatin et**
33. **Pandius sub porphyrius iotta conchilii + I cinnabarin + I crocum + I iotta herbe lucie + III**
34. **Pandius cynnabarin + I iotta conchilii + I coctio rubie + II coctionem phinicus teres primum**
35. **Pandius tolle ius rubie et addis galle + III et teres utiliter et tolle ex iotta rubie II et mitte in vase**
36. **Quianus nascitur de rosa baltasion nascitur enim in locis humidis nascitur quidem ex rosa estivo**
37. **Quianus nascitur sic propter pensum ante commixtionem spetierum marmorem tritum bene**
38. **Pandius viridis quianus viridis lib. I psimithin + I ista comisce cum urina expumata**
39. **Pandius quianus lib. I cinnabarin + I trita cum urina expumata**
40. **Hec omnia exposuimus quamquam ex terrenis maritimis floribus vel herbis exposuimus virtutes**

Figure 1 - Recipes of *De coloribus*, from: Città del Vaticano, Biblioteca Apostolica Vaticana, Reg. lat. 2079, ff.77r-79v

alchemical texts, including *Mappae clavicula*. One has undoubtedly been compiled in the Saint Augustine monastery in Canterbury and was donated to the Bodleian Library in 1612 (Oxford, Bodleian Library, Bodley 679). The other was given to the Bodleian Library in 1634, but was previously in Sir Kenelm Digby's collection (Oxford, Bodleian Library, Digby 162) [15]. Another 13<sup>th</sup> century manuscript has probably Italian origins, given that a piece of paper with Italian writings has been used for its binding. However, the interruption of the transcription on f. 100v suggests that it might have been dismembered (London, British Library, Add. 41486). In Italy, two CLT manuscripts were copied in the 14<sup>th</sup> century. The first is a Parisian codex that belongs to a group of codices transmitting the same *florilegium* (Paris, Bibliothèque National de France, lat. 7418), although it seems that this is the only witness of the same family that holds *De coloribus*. The other example is a manuscript written in southern Italy in which the CLT forms a seamless nucleus with *Mappae clavicula* and the treatise *De diversis artibus* by the monk Theophilus (Firenze, Biblioteca Nazionale Centrale, Pal. 951) [16]. Three further manuscripts – one dated to the 14<sup>th</sup> century and two to the 17<sup>th</sup> century – have been recognised as *descripti*, i.e. direct copies from previous examples that provide corroborating evidence as to the circulation of the CLT, which was much wider than initially thought (Glasgow, University library, Hunterian 110; Leiden, Rijksuniversiteit Bibliotheek, VFC 33; Siena, Biblioteca degli Intronati, C.V.24). The contents of the overall collection of the CLT consisting of twenty-six manuscripts are extremely heterogeneous: each individual manuscript seems to represent a different arrangement, depending on the texts availability or personal interest of the scribe. To the best of our knowledge, thirteen manuscripts

each contain one or more text-units from *De coloribus*. The data generated by the analysis of the global contents of the CLT, reported in a provided diagram (Figure 2), shows that the section *De coloribus* devoted to pigment making constitutes a highly significant percentage of each arrangement, which seems to confirm the value attributed to them by previous collectors who selected these recipes rather than others. In the diagram, each blue line shows the extent of titles from *De coloribus* compared to the remaining texts of the CLT.

The amounts are expressed in percentages to prevent distortions that might be due to the specific features of each manuscript. The actual volume of the sequence inside the CLT is shown. The results indicate that the Klosterneuburg manuscript, although fragmentary, is made up of nearly 40% of recipes from *De coloribus*. The majority of witnesses range between 10-20%, but the Oxonienses Bodley 679 surpasses that 20% compared to its global contents of the CLT. On the contrary, the five remaining manuscripts are all under 10%.

#### 4. DE COLORIBUS: CONTENTS AND ORDERING

It is distinctive that each witness of *De coloribus* transcribes a unique amount of texts displayed in a peculiar order. Indeed, care must be taken in basing the comparison solely on the most ancient manuscript and we ought to consider instead that earliest manuscripts are not necessarily the most reliable. In fact, the data reveals that the arrangement in the most ancient Lucca manuscript is apparently overturned and suggests that the Vatican manuscript might contain the best textual example of this. A provided graphic (Figure 3) attempts to verify that the sequence of text-units, i.e. *consecutio*,

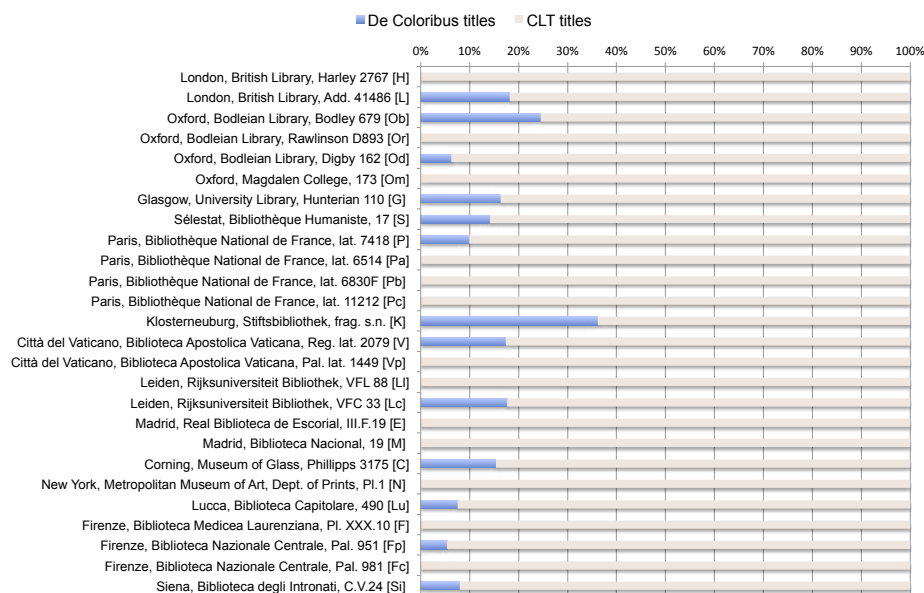


Figure 2 - Percentage of De coloribus titles compared to overall contents of Compositiones lucenses tradition (CLT) according to the manuscripts

has been severely altered in some manuscripts of the same CLT such as the Lucca manuscript, which does not seem to be reliable in the study of this literature.

The diagram pictures the *consecutio* of six selected manuscripts of *De coloribus*. The x-axis registers the sequence of the Vatican manuscript Reg. lat. 2079, designated as the role model. The y-axis records the *consecutio* of five witnesses chosen for the comparison. Each point of the diagram represents the ordinal position of a given recipe in both the Vatican and the matched example. For instance, every triangle has two coordinates, one for Corning numbering and another for the Vatican's *De coloribus*. As a result, Sélestat and Corning manuscripts contain collectively 39 out of the 40 text-units and only one recipe has not been transmitted. The 9<sup>th</sup> century Klosterneuburg manuscript contains merely 15 recipes, although orderly copied. By contrast, both the Lucca and Florence examples provide a disjointed sequence, visibly incomplete and unordered. The distances between the points graphically indicate that several recipes of Vatican's *De coloribus* are absent in the two Italian witnesses.

On these grounds, we would expect that some manuscripts were much more related than others and that the Lucca manuscript was the most altered. A further analysis on the *consecutio* given by the thirteen witnesses of *De coloribus* lead to one crucial question that this section attempts to answer: is it possible to determine the hypothetical and most extensive sequence accountable for the effective ordering provided by the majority of manuscripts?

Given the centrality of the issue for the present aims, it seems fair to suggest applying the Spearman's rank correlation coefficient, i.e. a nonparametric indicator of correlation ( $\rho$ ) to statistically measure the connection between

two ordinal variables as the *consecutio* of text-units given by two manuscripts. The results are shown in the diagram together with the correspondences of recipes between Vatican's *De coloribus* and five other manuscripts. A perfect correlation occurs when Spearman's coefficient is +1 since the variables are arranged consecutively identical, or consecutively specular when -1. When applied to the Vatican-Sélestat pair Spearman's measure calculates a +1 value, meaning that the manuscripts are strongly correlated because the first unit in both Vatican's and Sélestat's *De coloribus* exactly matches, and similarly for the rest of the sequence. However, Spearman's coefficient only determines the correlation between pairs of variables, i.e. equal text-units from two manuscripts. If there is not a recipe in just one of the two arrangements, the statistical dependence cannot be calculated. This deficiency, however, has not modified the sequence structure and the rate of relationship. For instance, recipe no. 31 in Vatican's *De coloribus* has no correspondence with any text-unit of the Sélestat manuscript, and therefore the correlation is calculated on 39 pairs of texts, but still equals a +1. As a result, the Spearman's correlation coefficient resists the elimination of one or more units and can be positively applied even on the Lucca manuscript. In the latter, however, the value is -0.5: a negative coefficient which indicates only a modest inverse correlation with Vatican's sequence.

The high ranks of correlation between the Vatican manuscript and the Sélestat-Corning *consecutio* can be further rationalised. I exclude the possibility that any of these manuscripts is a *descriptus*, i.e. a direct copy, because it appears more reasonable that they are all related to the same literary material. On logical grounds, I suggest that the three manuscripts have simply maintained the same sequence of recipes during

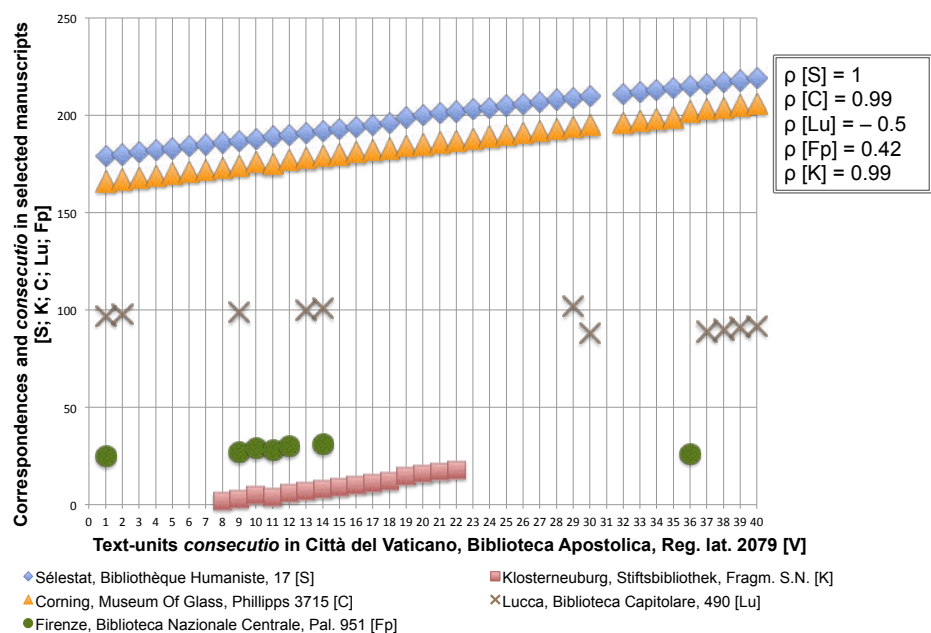


Figure 3 - *De coloribus*: Text-units Correspondences and Spearman's Rank-Order Correlation Coefficient ( $\rho$ )



the copying process. In stark contrast, the Lucca and Florence manuscripts have intercepted the same written flow of *De coloribus*, but have both partially transcribed it. Moreover, the Lucca sequence presents an inverse tendency, but at the time the cause behind this *consecutio* distortion remains a speculation.

## 5. CONCLUSIONS

*De coloribus* is the most ancient sequence devoted to pigment making transmitted from Antiquity to the Middle Ages. It constitutes a large part of recipes in many CLT manuscripts that individually contain a unique arrangement of texts.

This study has shown that thirteen CLT manuscripts contain *De coloribus* and has documented its exact extension of forty recipes into three sections individually devoted to azure, red, and *pandius* pigments, with concluding instructions on their application. The diagrams clarify the relationships between witnesses and point out additional crucial factors. On the one hand, it has been verified that the Lucca specimen is evidently not an accurate and reliable source. Instead, the study of the Vatican manuscript has been suggested as the role model for this sequence. Moreover, the degree of correlation between six selected manuscripts has been demonstrated confirming that unlike other examples, Lucca's *De coloribus* is not only incomplete but inversely transmitted.

Even though the historical literary sources on crafts and artisan knowledge have roots in Antiquity, *Compositiones lucenses* is the first case in which literary sources on art productions appeared in Europe and recipes and written records represent themselves as artefacts and cultural products that deserve to be studied for their intrinsic features. This paper has provided a new perspective of this first ensemble of painting pigments named *De coloribus*, which paved the way for the subsequent emergence of new written evidence on craft experience that from the 14<sup>th</sup> century focused exclusively on the production of pigments.

## ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to acknowledge Dr Guido Frison for introducing me to the topic of Spearman's correlation measure and for reading the manuscript at various stages.

## BIBLIOGRAPHY

- [1] R. P. Johnson, *Compositiones variae* from codex 490, Biblioteca Capitolare, Lucca, Italy. An introductory study, «Illinois studies in Language and literature», 23, 3, Urbana 1939.
- [2] L. A. Muratori, *Antiquitates Italicae Medii Aevi*, II, Milano

1739.

[3] The medieval tradition of *Compositiones lucenses* and its connection to Vitruvius' manuscripts has been at the centre of the PhD dissertation of the undersigned: G. Brun, *The transmission and circulation of practical knowledge on art and architecture in the Middle Ages. The case of Compositiones lucenses tradition and its connection to Vitruvius' De architectura*, Phd Dissertation, Politecnico di Milano, 2015.

[4] L. Schiaparelli, *Il codice 490 della Biblioteca Capitolare di Lucca e la scuola scrittoria lucchese, sec. 8.-9.: contributi allo studio della minuscola precarolina in Italia*, Roma 1924.

[5] W. Ganzenmüller, *Ein unbekanntes Bruchstück des Mappae clavicula aus dem Anfang des 9. Jahrhunderts*, «Mitteilungen zur Geschichte der Medizin, der Naturwissenschaften und der Technik», 40, 1941, pp. 1-15.

[6] W. Ganzenmüller, *Beiträge zur Geschichte der Technologie und der Alchemie*, Weinheim-Bergstraße 1956.

[7] A. Giry, *Note sur un manuscrit de la bibliothèque de Sélestat*, «Revue de philologie, de littérature, et d'histoire anciennes», 3, 1879, pp. 16-18.

[8] The manuscripts of *Mappae clavicula*, which for the most contain also excerpts from the CLT, has been recently studied by the undersigned and published inside the first critical edition of the text edited by Sandro Baroni, Giuseppe Pizzigoni, and Paola Travaglio. G. Brun, *I codici testimoni di Mappae clavicula*, in S. Baroni, G. Pizzigoni, P. Travaglio (eds.), *Mappae clavicula. Alle origini dell'alchimia in Occidente*. Testo, traduzione, note, Saonara 2014, pp. 201-217.

[9] T. Phillipps, *Letter from Sir Thomas Phillipps addressed to Albert Way Communicating a Transcript of a MS Treatise on the Preparation of Pigments, and on Various Processes of the Decorative Arts Practiced in the Middle Ages, Written in the Twelfth Century, and Entitled Mappae Clavicula*, «Archaeologia, or Miscellaneous Tracts Relating to Antiquity», 32, London 1847, pp. 183-244.

[10] C. S. Smith, J. G. Hawthorne, *Mappae Clavicula: a little key to the world of medieval techniques*, «Transactions of The American Philosophical Society», 64, 4, 1974, pp. 1-128

[11] D. V. Thompson, *Artificial Vermilion in the Middle Ages*, «Technical Studies», II, 1933, pp. 62-70.

[12] A. Petzold, *De coloribus et mixtionibus: the Earliest Manuscripts of a Romanesque Illuminator's Handbook*, in L. L. Brownrigg (ed.), *Making the Medieval Book: Techniques of Production. Proceedings of the Fourth Conference of the Seminar in the History of the Book to 1550* (Oxford, July 1992), London 1995, pp. 59-64.

[13] G. Brun, *De emplastro. Prime considerazioni su un inedito trattatello di pittura murale altomedievale*, «ACME», Vol. LXIV, III, 2011, pp. 51-74.

[14] F. Tolaini, *'De tinctio omnium musivorum'*. Technical recipes on glass in the so-called 'Mappae clavicula', in M. Beretta (ed.), *When glass matters*, Firenze 2004, pp. 195-214.

[15] F. Madan, H. H. E. Craster, *A summary Catalogue of Western Manuscripts in the Bodleian Library at Oxford*, 4 vols, Oxford 1922.

[16] G. Pomaro, *I ricettari del fondo Palatino della Biblioteca nazionale centrale di Firenze: inventario*, Milano-Firenze 1991.

<sup>1</sup>Andrea Siniscalco  
andrea.siniscalco@polimi.it

<sup>1</sup>Department of Design,  
Politecnico di Milano

# Didactic for building professionals. The experience of Lighting Design and Color Design masters

## 1. INTRODUCTION

The creation of professional figures with very transversal competences, able nevertheless to maintain a profile with a recognizable identity that is appealing for the world of work, is a challenge that anyone involved in training has to deal constantly. The global crisis, coupled with a growing necessity of flexible figures, with competences so that they are not confined in steady positions, is making the creation of didactic programs an activity more difficult than in the past. To this premise, we must add the boom of new technologies, that in the last years changed radically the way of working in term of request, products, management, and more. Moreover, there are issues (concerning the creation of a learning path) that become crucial, when the graduate student cannot be accredited in professional bodies such as architects or engineers. These issues are usually related to the perception of the professional figure created by the course: by the candidates (in terms of expectations) and by the world of work (in terms of competences needed for certain positions).

In this contribution, I will focus on a didactic process thought for two specific professional figures, the Lighting Designer and the Color Designer. I will describe briefly two specializing masters: the Lighting Design & LED technology held by Laboratorio LUCE of the department of Design, Politecnico di Milano, and Color Design & Technology held by Lab. LUCE and Università degli studi di Milano.

## 2. BUILDING A PROFESSIONAL

The main purpose of these two master programs is to create figures that can enter the world of work from the very moment they finish their training. This is a direct consequence of the lack of academic degree programs specific to these two disciplines. Manufacturers and studios that have in the design of light and color their main activities, usually have to undergo a long process of internal training for students that come from “classic” faculties (usually architecture, engineering and design), where these subjects are handled in a very academic way or with very little depth. The Master in Lighting Design at the Politecnico di Milano exists since 2004 (with a previous program held in 1988) and evolved greatly in the eleven editions



Figure 1 - Students attending the first lectures of the eleventh edition of the master in Lighting Design & LED Technology

that went through. This evolution in the program came directly by the continuous dialogue between university and the world of work. Lighting design studies, with their interventions have helped to give a very practical, project oriented direction, and companies, over the years, helped defining the program by communicating the subjects that in their opinion, were the most useful in order to work in their technical offices. The process to obtain a program balanced between the many souls of this professional sector required to find an appropriate balance between technical skills and culture and communication. In addition to that, participants have their own personal idea to what their future profession should be.

The specializing master in Color Design is more recent and can count only one edition, but the experience maturated in the Lighting design sector allowed the two universities to find an effective program straight away.

The world of work has indeed proved to be very receptive to these professional figures so that the requests for graduated students are much higher than the available candidates.

### **3. FUNDAMENTALS**

The definition of a competent professional begins obviously with the basic competences of the subject, the technical tools through which the creativity of the future designers will express at best. The program of the two masters are different regarding the subjects that are proposed.

#### **3.1. MASTER IN LIGHTING DESIGN & LED TECHNOLOGY**

##### ***Theory and technology of light***

Study of natural light, how it can be measured and how it affects perception of architecture. Electronic components and LEDs is a central subject on the master and focus (in multiple lectures spread on the whole duration) on how to control these new technologies in terms of light sources, optics, power supplies and control systems. There are then experiences with the measuring tools, in order to give a better understanding of the physical quantities of light.

##### ***Methods and tools of light planning***

The subject mainly known as illuminating engineering in which the main unit of measure and the relation between them are described. This very technical subject help the students to be quick minded when they approach the design; being able to understand the mathematics behind light in order to not just rely on software simulation.

##### ***CAD for lighting***

Coupled with illuminating engineering, usually we present a professional lighting software to students, so that while they learn the relation between light quantities, they acquire a tool to speed up the verification of their projects. Other than the presentation of the interface and functionality, various real life exercises are proposed to students.

##### ***Culture and practice of lighting design***

In this modules students deal with art, not only the so-called light art, but the traditional arts as well. How light is portrayed by artist in the centuries so they can steal from the most famous artist and enrich their sensibility for light. Another important aspect presented is science of perception; the mechanism that affect the process of vision from an optical, physic and psycho-physiological point of view and how these effects can be used effectively in a project. There are then a series of seminars with professionals, which bring their experience by describing their more challenging and interesting works.

**3.2. MASTER IN COLOR DESIGN & TECHNOLOGY**

***Perception and color history***

Culture and color history and the aspects of perception that are the basis of its complexity. The perceptual mechanisms that affect the color and vision in general are presented to enable the students to recognize and design them.

***Colorimetry and color systems***

Color is a subjective characteristic, but colorimetry is needed to measure, standardize, communicate and represent in an accurate way the color of a surface or a light source. The theoretical basis of perception, colorimetry, photometric and radiometric measures are presented in this module as well as the color atlases, an alternative way to select, represent and communicate color. This module gives the essential technical skills that are the basis of the color designer, independently on the application areas. Students are also encouraged not only to understand the laws that govern, i.e. a spectrophotometer, but also to learn how to use it correctly.

***Digital color***

With the diffusion of new technologies, more and more aspects of communication and color reproduction are becoming digital. This module presents theoretical and practical fundamentals for manage, view and reproduce the digital color applied to different media, with particular attention to the limitations and problems associated with the use of different devices and color profiles.

***Color applications***

This module resumes how the knowledge acquired in the previous modules can be applied in most professional fields and applications, through examples and case studies deriving from different contexts: marketing, visual communication, restoration of cultural heritage, photography, architecture, product and lighting design and more.



Figure 2 - Students of the Color Design & Technology master improve their competences with color systems and measuring tools.

**4. PROJECT WORKS**

Once the students acquire the basic tools for the project, they must learn a design method. As already stated, however, these competences are very transversal. Professional realities that require these skills may be very different from each other. In order to provide a more complete frame to the students, professionals and manufactures of the sector intervene in the lectures to manage designing experiences (usually lasting three weeks) called project works. Each project work is dedicated to a specific field of the subject, and students organized in teams, must develop a case study from the concept to the executive drawings, reviewing the process with professionals and exposing their projects in a final dissertation. These modules are different for the two masters as well.

## 4.1 - MASTER IN LIGHTING DESIGN & LED TECHNOLOGY

### ***Lighting for retail purposes***

Students have to design the lighting for commercial spaces, where the importance of the object and the brand is essential. The classification of selling points (high range, shopping centers, etc.), and identification of the requirements and the specific peculiarity of the project in various cases. Identification of the key element of the space dedicated to the sale: cash counter, vertical display case, wall objects, dressing rooms, waiting lounges, and all of the various lighting solutions that may be implemented.

### ***Lighting for urban environment***

Lighting for exteriors, not only intended as streets, roundabouts, tunnels, but mostly areas of urban interest, where lighting can contribute radically to urban beautification, safety and energetic sustainability. Building facades, squares, and everything that can be improved with the use of proper lighting.

### ***Lighting for the show***

The world of lighting for theater and live stage is richly evocative, and the aims of the lighting designer are quite different from the architectural field. How to create suggestions in theater, a cue list for a live concert. All the lighting components (products, technologies and the control protocols) and the history of the show business are described in this module. The emotional component of this module is essential to students to understand how to improve even their architectural/technical work, giving them more depth.

### ***Lighting for cultural heritage***

Cultural heritage not intended only as museum lighting. Everything that has to do with the heritage of human beings, such as monuments, historical sites and facades, monuments and so on. All the lighting solutions that suits better the requirements of this delicate field (color rendering index, protection of the goods, etc.).

### ***Lighting for hospitality***

How to manage light in the spaces intended to host human beings. Multiple environments can be subject of this module, from hospitals to hotels, from convention halls to restaurants or cruise ships. The use of light and new technologies for the purpose of the temporary stay of individuals.



Figure 3 - Students of the tenth edition of Lighting Design & LED Technology master attending a lecture of Giovanni Pinna at Caly Paky show room.



## 4.2 MASTER IN COLOR DESIGN & TECHNOLOGY

### *Color for communication*

Function and communicative dimension of color within the project of Communication Design. Each communicative artifact arises from a series of choices that fit into a well-defined design process. The design and implementation of a brand start from the visual identity (name, brand, logo, lettering, packaging, integrated communication) that ensures the recognition and affirmation of the company. It is clear the importance of color in this strategy: the visual identity is built on the evocative and persuasive aspects of the chromatic language.

### *Color for fashion design*

Study of the color texturing in fashion with the aim of being able to offer the same product with different color variation, in order to reach culturally different markets and to offer the sensation of a personal choice to individual consumers. Starting from the construction of the color palette composed by individual colors, for the fashion collection, combined in two or three main approaches in relation to the messages conveyed their aesthetic and social characteristics.

### *Color for interior design*

This module is dedicated to the analysis of the application possibilities of a chromatic design, for the creation of innovative retail spaces, which can ensure a harmonious relationship, with the values from the image communicated by the brand and corporate identity.

### *Color for industrial product design*

The aim of this project work is to develop a methodology to design through the simulation of a CMF project (Color/Material/Finishes) of a real product. The students go through all of the methodical phases needed for the definition of the identity of the product: study of the market (position, competitors...), study and definition of the target, study of CMF trends in the sector and creation of CMF scenarios.

### *Color for urban space*

Explore the close relationship between architecture and urban space and the aspects related to the interaction between the human being and the natural environment. The role of the “perceptual project” for the growth of civic and urban identities is highlighted. The module examines the issues related to the phenomena of perception and color in the urban scale by providing theoretical and procedural tools with the support of pictures, cognitive maps and case studies.

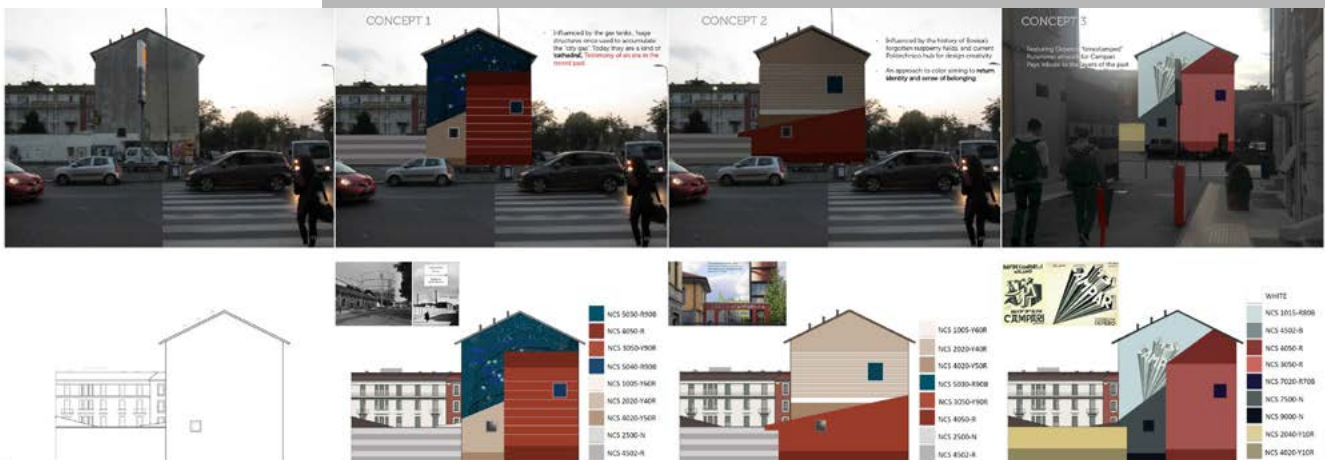


Figure 4 - Project Work “Color in urban spaces” teachers Giulio Bertagna and Aldo Bottoli. Work of Salma Hussein and Tanja Polegubic.

## 5. PROFESSIONAL EMPOWERMENT AND INTERNSHIP

Many hours of both the master programs have been dedicated to the professional empowerment. Some of the companies and professionals willing to host interns at the end of the front lectures came in the classroom to tell their story and explain why

there is the need of field expert. They also brought products, devices and materials to show to the students. Moreover, visits were made to companies that opened the doors of their laboratories, test sites and technical offices.

The final phase of the didactic path of both masters for all of the students is the internship. More than one hundred realities agreed with the didactic programs by giving their availability to host interns in their offices. The students can express preferences on where to go. The internship last for a minimum of 312 hours and it's a fundamental phase for the students because allow them to use the acquired skills in a professional environment, learning a specific methodology that can be different from a manufacturer, a theater a studio or other realities. The professional figure that emerges from this learning path is innovative, and with enough flexibility to satisfy the needs of the world of work.



Figure 5 – Students of the seventh edition of the master in Lighting Design & LED Technology visit the factory of Disano, one of the companies that collaborated with the master and hosted interns.



## Misura del colore ovunque

- campioni concavi e curvi
- area di misura da 3 a 8 mm
- comunicazione wireless
- ergonomico e leggero





**GRUPPO DEL COLORE**  
ASSOCIAZIONE ITALIANA COLORE

[www.gruppodelcolore.it](http://www.gruppodelcolore.it)

