

Colore e colorimetria: contributi multidisciplinari

VOL. II

**Atti della Seconda Conferenza Nazionale del Gruppo del Colore
Università degli Studi di Milano Bicocca, Milano
20-22 settembre 2006**

a cura di Alessandro Rizzi



*Società Italiana
di Ottica e Fotonica
Italian Branch of the European Optical Society*

Comitato Scientifico:

Tiziano Agostini, Università degli Studi di Trieste, Salvatore Asselta, BASF, Mauro Bacci IFAC-CNR, Mauro Boscarol, Osvaldo Da Pos - Università degli Studi di Padova, Alessandro Farini, Ist. Nazionale di Ottica Applicata, Daniele Marini - Università degli Studi di Milano, Claudio Oleari - Università degli Studi di Parma, Angela Piegari - ENEA, Andrea Raggi - Università degli Studi "G. d'Annunzio", Maria Luisa Rastello - Ist. El. Naz. "Galileo Ferraris", Alessandro Rizzi - Università degli Studi di Milano, Maurizio Rossi - Politecnico di Milano, Raimondo Schettini, Univ. Studi di Milano Bicocca, Silvia Zuffi - ITC CNR.

Comitato di Programma:

*Daniele Marini - D.I.C.O. - Università degli Studi di Milano
Maurizio Rossi - Dip. In.D.A.Co. - Politecnico di Milano
Silvia Zuffi - I.T.C. - CNR*

Comitato Organizzatore:

*Alessandro Rizzi - D.T.I. - Università degli Studi di Milano
Raimondo Schettini - D.I.S.C.O, Università degli Studi di Milano Bicocca*

ISBN-10 88-7957-252-0
ISBN-13 978-88-7957-252-1

Gli Autori dei lavori contenuti nei presenti Atti si assumono la responsabilità del testo e delle immagini riportate.

© Copyright 2006
Centro Editoriale Toscano sas
Via della Villa Demidoff, 50 - 50127 Firenze
Tel. 055.350530 - Fax 055.353494
e-mail: cs2p@fol.it

Indice

	pagina
Prefazione	VII
Il colore nella comunicazione e design	
I colori “ALIMENT-ARE	
M.P. Graziani	1
Design a colori. Habitat e anziani. Esperienze di ricerca e sperimentazione	
R. Fagnoni	13
Il colore dei significati: il ruolo della policromia dall’effimero barocco all’allestimento contemporaneo. Casi di studio in Sardegna.	
D. Fiorino	23
Misura ed elaborazione del colore	
Formula Euclidea per la differenza di colore nello spazio OSA-UCS con croma compressa	
C. Oleari, R. Hueltas, M. Melgosa	33
Un software didattico su fenomeni della visione a colori e per il calcolo dell’analisi colorimetrica	
C. Oleari, G. Simone, A. Rizz	43
Formulazione ‘spray’ di Retinex e rumore cromatico	
E. Provenzi, R. Rossetti	55
Spectral based color imaging using RGB digital still cameras: simulated experiments	
S. Bianco, F. Gasparini, R. Schettini	67
Aspetti storici del colore	
Hermann Gunther Grassmann e la formalizzazione della colorimetria	
M. Boscarol	79
Abu ibn al-Hasan ibn al-Haitham detto Alhazen. Anno 1000 d.c.: Luce e Ombra nelle sperimentazioni del teorico mussulmano	
D. Calisi	91

Il colore nel restauro

Realizzazione di misure colorimetriche in programmi di conservazione e restauro A. Gueli, G. Burraffato, R. De Vincolis, C. Lahaye, A. Occhipinti, G. Stella, S.O. Troja, A.R. Zuccarello, M.G. Scariolo	101
--	-----

Indagine colorimetrica per la pulitura di due statue d'epoca romana recentemente rinvenute ad Agrigento G. Bruno, F. Prestileo, C. Di Stefano, M.G. Cicero, L. Pellegrino	113
---	-----

Riproduzione digitale di opere d'arte: problematiche, considerazioni, soluzioni D. Gadia, D. Marini	121
---	-----

A comparison of algorithms for blue scratch removal in digital images L. Maddalena, A. Petrosino	133
--	-----

Percezione del colore

On light and colour effects for interior lighting Design: part I theory - part II applications M. Rossi, A. Siniscalco, C. Fallica, A. Seassaro	145
---	-----

Rappresentazione di informazioni testuali sul Web: la leggibilità come requisito in uno strumento per la scelta dei colori S. Zuffi, G. Beretta, C. Brambilla	169
---	-----

Effetti della chiarezza del colore sulla leggibilità e la piacevolezza di un testo M. Greco, N. Stucchi, D. Zavagno	179
---	-----

Contrasto e stratificazione nella trasparenza cromatica O. Da Pos, A. Devigili, F. Giaggio, G. Trevisan	187
---	-----

POSTER

Uno studio finalizzato a gestire e pianificare la componente cromatica dell'arredo urbano della città di Milano A. Seassaro, M. Bisson, C. Boeri	199
--	-----

Il colore moda di un semilavorato: Eurojersey S.p.A. propone un metodo nuovo di progettazione N. Marelli	203
--	-----

Comunicare a colori: i linguaggi e la funzione del colore nella poesia beat e nel “marketing” americano	
T. Salza	209
Vectorialization of Raster Coulor Images	
S. Battiato, G. Puglisi, G. Impoco	221
Rilevamento del profilo di oggetti tramite la proiezione di strutture colorate	
D. Fontani, F. Francini, L. Mercatelli, D. Jafrancesco, P. Sansoni	229
La fotometria per un tessile protettivo	
M.R. Massafra, S. Beretta	237
Misure di colore della superfice di titanio anodizzato	
B. Del Curto, M. Pedefferri	248
Restauro digitale del colore: il caso de “Il racconto della Stura”	
R. Bonisoli	256
Colore e architettura: un percorso geografico culturale nel colore ambientale tra storia e attualità	
S. Rizzo	268
Indagini storiche e colorimetriche sul pigmento “giallo di Napoli”	
A. Cocchiararo, S. Omarini	273
Insegnare la progettazione cromatica	
R. Pompas, L. Luzzatto	280
Laboratorio virtuale per analisi radiometriche e spettrali della percezione cromatica	
F. Gandellini, A. Moretti	287
Quando il colore che non si vede influenza la percezione	
R. Actis Grosso, D. Zavagno, M.L. Martelli, R. Daini	296

Prefazione

L'anno scorso, con l'intento di perseguire alcune tra le finalità alla base della nascita del Gruppo del Colore, è stata organizzata la Prima Conferenza Nazionale del Gruppo del Colore, ospitata a Pescara dall'Università "G. d'Annunzio". Questa iniziativa ha rappresentato per il Gruppo del Colore il primo appuntamento ufficiale, al quale hanno risposto con entusiasmo numerosi studiosi ed operatori che si occupano di aspetti cromatici e colorimetrici nell'ambito dei più svariati campi di attività.

Quest'anno l'appuntamento si rinnova con la Seconda Conferenza Nazionale, ospitata presso l'Università degli Studi di Milano Bicocca, e se possibile l'entusiasmo dimostrato nel proporre nuove ricerche e proposte è stato ancora maggiore.

Il Gruppo del Colore nasce nel 2004, quando il Gruppo di Lavoro in Colorimetria e Reflectoscopia, creatosi nel 1995 in seno alla SIOF (Società Italiana di Ottica e Fotonica) su iniziativa del Prof. Claudio Oleari, in occasione del VII Convegno annuale di Colorimetria tenutosi presso l'Università di Parma, ha deciso di ampliare il proprio ambito formale di interesse e riferimento, raccogliendo le richieste provenienti in tal senso da più parti, trasformandosi in una realtà, analoga ad altre esistenti in diversi Paesi, avente l'obiettivo di favorire l'aggregazione multi- ed interdisciplinare di tutti coloro (organizzazioni ed individui) che in Italia si occupano del colore e della luce da un punto di vista scientifico e professionale.

Gli aspetti che il Gruppo del Colore considera, ispirandosi a quelli contemplati dalla "Association Internationale de la Couleur" (AIC), sono i seguenti:

- *Cos'è il colore.* La natura fisica e psicologica del colore, i meccanismi della visione nei loro aspetti fenomenologici e teorici.
- *A cosa serve il colore.* Ruolo del colore nell'industria, nella moda, nella cosmesi, nell'edilizia, nell'arte, nell'architettura, nell'ambiente, nella grafica, nella cultura, nelle codifiche, ecc...
- *Come funziona il colore.* Il colore in relazione alla illuminazione, ai meccanismi della visione a colori, alla fisiologia. Il colore in presenza di deficienze e anomalie, negli aspetti clinici e biologici. Il colore nei modelli computazionali e nella visione artificiale. Il colore nella costruzione di armonie, di illusioni, di preferenze cromatiche, nella memoria, nel trattamento dell'informazione.
- *Come si può controllare il colore.* Colorimetria, fotometria, soglie di discriminazione dei colori, atlanti dei colori. Fenomeni dell'apparenza del colore, dell'adattamento, della costanza del colore, del metamerismo. Il colore nella sua riproduzione secondo le varie tecniche. Il colore digitale in relazione ai dispositivi per la sua gestione. Il colore nella comunicazione, nella visualizzazione, nella duplicazione, nella stampa. Il colore nell'arte, nell'architettura, nell'arredo, nel restauro, nell'archeometria. Il colore nell'industria.
- *Come si può insegnare il colore.* La didattica e gli ausili all'insegnamento del colore nelle scuole per la formazione industriale, terziaria e accademica. La storia della scienza e della pratica del colore.

Le finalità del Gruppo del Colore consistono nel:

- promuovere lo studio del colore in tutti i suoi aspetti, compresi quelli della visione ad esso collegati; creare opportunità di incontro, divulgazione e scambio di idee tra persone collegate agli aspetti scientifici, industriali, estetici e didattici del colore;
- favorire la formazione di standardizzazioni, specifiche, nomenclature e altri aspetti utili a favorire la ricerca nel campo del colore;
- favorire la disseminazione dei risultati della ricerca sul colore ottenuti in Italia al resto del mondo e viceversa;
- favorire la disseminazione della cultura sul colore.

Questo volume raccoglie, seguendo l'approccio tipicamente multi- ed interdisciplinare tenuto l'anno scorso, contributi che riguardano diversi aspetti della scienza del colore: dalla natura fisica e psicologica del colore, agli elementi fenomenologici e teorici della percezione cromatica, agli aspetti tecnici della misurazione strumentale e del controllo di qualità, al ruolo del colore nell'industria, nella grafica, nell'arte, nell'architettura, nel design, nella moda e nella comunicazione.

Pur salvaguardando i numerosi e frequenti aspetti di interdisciplinarietà, si è cercato di organizzare il materiale raccolto in diversi capitoli collocati nel contesto del volume secondo una successione logica che, partendo dagli aspetti teorici della colorimetria e della percezione, conducessero il lettore verso prospettive più applicative e specifiche. Confidiamo che l'esito, grazie soprattutto all'elevato valore scientifico del lavoro svolto dagli Autori qui ospitati, si configuri, da un lato, come un utile contributo alla diffusione dei risultati conseguenti agli sforzi di ricerca e di implementazione che si vanno moltiplicando nei vari campi della scienza del colore, dall'altro, come uno stimolo a fornire ulteriori apporti all'avanzamento delle conoscenze scientifiche sul fenomeno, nonché delle relative implementazioni pratiche.

A conclusione di queste note, vorrei ringraziare vivamente gli Autori dei contributi qui pubblicati che hanno aderito numerosi a questa iniziativa, condividendo con entusiasmo i risultati della loro attività di studio e ricerca. Un sentito ringraziamento va anche a tutti i componenti del Comitato Organizzativo e Scientifico per il loro valido ed insostituibile supporto: il Prof. Raimondo Schettini, il Prof. Daniele Marini, il Prof. Maurizio Rossi e la Prof.ssa Silvia Zuffi, nonché a tutti coloro che hanno fattivamente partecipato alla realizzazione di questo volume.

Desidero poi ringraziare in particolar modo Konica Minolta Sensing Europe, Italy Branch Office, senza il cui determinante contributo questo volume non avrebbe potuto materialmente vedere la luce.

Alessandro Rizzi

Coordinatore del Gruppo del Colore

Settembre 2006

I COLORI "ALIMENT-ARE"

Maria Paola Graziani

Istituto di Scienze dell'Alimentazione del C.N.R.

Via Roma 52 – 83100 Avellino, Tel. 0825 299312 - Fax: 0825 781585

mpgraziani @isa.cnr.it

1. Introduzione

Il termine alimento viene dal latino "alimentum", da "ALO"= faccio crescere. Attuando un gioco semantico anglofilo alla "Totò", possiamo definire i colori come "alimento" nel senso etimologico, ossia che dà vigoria, gusto, "sale alla vita" e, in conclusione, ci fa transitare dall'infanzia all'età adulta, in una parola "crescere". Una delle più moderne interpretazioni scientifiche sulla percezione del colore fa capo a Goethe (1), che, per i suoi tempi molto innovativo, ne sottolineava il "carattere soggettivo". A ruota, tutto l'800 è stato trascinato da questa "intuizione", verso approfondimenti scientifici che hanno riguardato anche l'arte, come testimonia R. Arnheim che, fra i primi, ne sottolineava la relazione con il contesto che "lo determina" (2).

2. Colore e processi emozionali

I colori che percepiamo vengono determinati dalla natura della luce riflessa dagli oggetti e non sono, quindi, una proprietà intrinseca, né della luce, né dell'oggetto. Il tutto, letto in chiave psico-sociale, fa sì che il colore interpreti culture e abitudini, rivelando aspetti non solo proiettivi, ma concreti e simbolici delle varie culture, oltre che emozioni primarie e sociali, quali la rabbia, il piacere, la sensualità ecc. Nel percepire un colore, ne sperimentiamo il significato oggettivo non disgiunto da quello emotivo "vissuto" in maniera inconscia, che corre insieme al segnale definito da cromatismi che regolano la comunicazione verbale e ancor più quella non verbale. Per es. dell'animale "vespa" è il suo colore giallo-nero che, una volta percepito, come avviene anche in presenza del solo colore rosso, attiva la nostra attenzione e ci segnala un allarme, un avvertimento. Infatti l'organismo, anche solo esposto, sperimentamente, alle frequenze del colore rosso, implementa i suoi indicatori fisiologici, per cui si accelerano non solo i ritmi biologici (ritmo cardiaco, salivazione, pressione ematica) ma anche si modificano tratti del linguaggio emotivo: è così che quando dal livello inconscio le sensazioni salgono alla coscienza, esse, se indotte da colori rosso-giallo si trasformano in messaggi di eccitazione, e/o di tranquillità in presenza di colori blu-verdi. Si definiscono così reazioni diverse siano esse personali, culturali, di contesto ecc, che rivelano le interpretazioni degli "insiemi percepiti". **Tutto ciò è in relazione ad**

un fenomeno complesso ed affascinante, che va sotto il nome di sinestesia: (dal greco *synaesthesia* “percezione simultanea”), fenomeno per cui la percezione di determinati stimoli è accompagnata da particolari immagini, proprie di un'altra modalità sensoriale. Il colore, fra gli stimoli, è predominante fra quelli che la attivano e funge da segnale sinestesico, guidandoci come un filo d'Arianna fra il turbinio dei sensi, riorganizzandoli. Dove infatti il colore è assente o monotono, come nel deserto o in alcune monocromatiche architetture urbanistiche, orientarsi è più difficile. (J. Tornquist). Poiché forma e colore interagiscono nelle sensazioni, la sensorialità delle emozioni ci rende interpreti degli stati affettivi per via appunto della sinestesia. In tale contesto oggetti ed eventi sembrano “animarsi” anche se reali solo nella “memoria” o in astratto, facendoci sperimentare piacere o malinconia, come accade di fronte a paesaggi, tramonti, marine ecc o a suoni, odori, profumi, colori. Parimenti accade verso il gusto, come alcune sperimentazioni hanno rivelato evidenziando che il solo percepire bevande fredde dal colore giallo, determina sensazioni di sapore aspro ed acido. Ciò accade perché il senso della vista si è collegato in modo sinestesico a quello del gusto. (3, 4, 5) Le sensazioni rivelano, quindi, che - per via sinestesica- i nostri stati d'animo emozionali non solo vedono, ma interpretano e ridefiniscono la percezione della realtà, sia essa visibile, e circostante, sia della memoria!!! Tutto ciò conferma che il senso etimologico di percezione (dal latino: *perceptus*, part.pass.di *percipere*, *percepire*, = “prendere, captare”) in psicologia si ridefinisce come un processo mediante il quale “l'individuo riceve ed elabora (*capta*) informazioni provenienti dall'esterno e dal proprio corpo, attraverso gli organi di senso”.

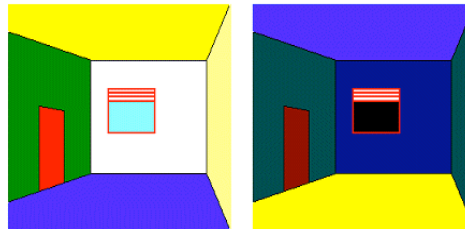
3. L'importanza del colore in alimentazione

Percepire con i sensi è quindi fondamentale, sia nel fruire l'arte, ma anche nel comportamento alimentare; a maggior ragione il colore in alimentazione riveste importanza rispetto all'interpretazione della percezione sensoriale come ben riassunto dal neurologo inglese Oliver Sacks (6). Nel corso della narrazione che egli fa di un suo “paziente” tale Jonathan I. pittore riporta che questi, a causa di un incidente stradale, perde la capacità di distinguere i colori e precipita in un mondo di bianchi, grigi e neri e dimentica l'emozione e il “gusto “ della vita, scoprendo un mondo tutto grigio, ignoto e “immangiabile” repellente a causa del suo aspetto grigio e “morto” finendo per mangiare solo alimenti davvero bianchi e neri: olive e riso, caffè e yogurt.,ecc Il fatto accaduto nella realtà a questo personaggio, rivela bene, con specifico riferimento alle sensazioni alimentari, il potere comunicativo del colore come espressione della specifica e particolare funzione alimentare, in quanto non rappresenta solo la risposta ad un bisogno fisiologico, ma a molti fattori che interagiscono fra loro, come età - sesso - stato di salute - attività fisica -

personalità - religione - tradizione, conoscenza, informazione, con ripercussioni su gli atteggiamenti psicologici, indirizzando o frenando scelte e consumi.(7, 8). Allo stesso modo il design, la moda, l'arredamento, il trucco e i tatuaggi...tutte le nuove espressioni che del colore fanno una bandiera, confermano la relazione fra mondo della psiche e immagine luminosa, che fa, del colore, espressione e comunicazione di natura virtuale e possibile imitazione di una realtà, oggettiva raffinata e semplice, riassumibile, non solo nell'antropologia semantica, ma anche dal mondo animale e vegetale, dove gli arcobaleni di piumaggi, manti, fiori, ecc. ben esprimono (9)

4. Colore e percezione

Colore. quindi come segno, indicatore plurideclinabile e di comunicazione di simboli e allarmi funzionali all'uomo per orientarsi sia nei consumi alimentari, per differenziare caratteristiche oggettive come "texture", consistenza, commestibilità (maturo, acerbo, morbido o duro, ecc.), sia verso gli oggetti per fattori spaziali lontano....vicino.... o di volume: pesante (nero), leggero (azzurro-grigio)ecc. Colore funzionale come un "amico", per orientarci sia nello spazio naturale, sia in quello costruito per cui i colori freddi sono utili a definire alcuni sfondi e quelli caldi per i primi piani, fino a creare illusioni percettive e teatrali scenografie prospettiche.



Ma il colore è anche un codice che riordina le contrastanti emozioni fra i focus delle opposte sensazioni: "piacevole o spiacevole"; "gustoso - disgustoso". Il colore può esprimere incredibili dicotomie rispetto a questi due focus e alcuni di essi sono più funzionali di altri: per esprimere "piacere", per es. il colore rosso comunica metafore di amore, appetito, forza; ma, se esprime "dispiacere", riecheggia simbologie di furia, disgusto, sovraccitazione, spossatezza; il "blu", associato a "piacere", esprime desiderio di tranquillità, soddisfazione, armonia; ma, legato al concetto di "dispiacere", esprime blocco emozionale, paralisi delle sensazioni, noia, melanconia, adonia, insoddisfazione, agitazione, irrequietezza. Stessi colori diverse parole: il lessico evidenzia infatti l'arcobaleno emozionale cromatico : "la vie en rose, "I feel blue" "sono verde di rabbia", ecc. sono espressioni verbali di sentimenti come l'ottimismo, la melanconia, la rabbia. Riassumendo: i colori fanno risalire dagli abissi del "non consapevole" sentimenti "visualizzabili" (10) La visione non è mai un atto passivo, nè unimodale: rivela invece sempre l'esistenza della reciprocità tra l'individuo e il suo ambiente o

spazio visivo e una disposizione a schemi interpretativi gestaltici (d'insieme) (11), che propongono immagini ricche di contrasti cromatici e formali che vanno dai chiaro-scuro alle forti luminosità. I primi definiscono i pieni e i vuoti, la luce e le ombre. In assenza di ombra, la percezione si limita e si confonde e l'organismo ricerca un riequilibrio come accade per es nei paesi nordici, dove per via della luce forte e bianca che domina all'esterno, gli interni spesso privilegiano colori "caldi" (giallo-rosso) che suscitano sensazioni di calore, in contrasto con la luminosità fredda del clima. Al contrario i paesi equatoriali dai forti contrasti caldi, privilegiano interni "freddi" (verdi-azzurro per attivare sensazioni di freschezza. Anche le popolazioni Mediterranee come quelle equatoriali cercano riequilibri ambientali, non solo rispetto al clima, ma anche rispetto alle tradizioni e alle arti che disegnano contesti antichi in contrasto con i nuovi, ricercando fattori che leghino le storie: in campo alimentare con rappresentazioni simboliche che, sul piano dell'immaginario, hanno definito emozioni e simboli. Il tutto, con il colore e le ombre, ha offerto testimonianze della fame e della povertà, del conformismo e dell'originalità e di desideri e paure che ancora oggi parlano con linguaggio universale trasmettendo simboli di generazione in generazione.

5. Arte colore. Alimento

L'arte in senso latino, secondo il Dizionario latino-italiano Georges 1886, è intesa come "abilità corporale o spirituale in quanto si mostra attiva". In tale accezione è comunicazione ed è talmente precoce ed universale nell'uomo da essere, in senso greco, il primo strumento "tecnico" con il quale il bambino interpreta e disegna il mondo esterno ed interno, rappresentando una sorta di resoconto del suo viaggio interiore e del suo dialogo e dell'ascolto "del suo proprio Sé", frutto non di imitazione o rappresentazione, ma della "invenzione" con la quale egli ricrea la natura stessa delle cose (12). Come il bambino anche l'artista non dovrebbe copiare ma "inventare" e uno sguardo sia pure riassuntivo e certamente riduttivo delle opere artistiche che all'interno della struttura pittorica hanno rappresentato oggetti alimentari, rivelano l'intimo nesso fra "produzione artistica e possibilità di afferrarne i contenuti inconsci", come affermava Jung in suo famoso saggio su Picasso (13). Alcuni pittori hanno "fotografato" il mondo alimentare, ma, per lo più, quasi tutti hanno raffigurato in modo "misterioso" eppure chiaro, emozioni e sensazioni che possono apparire chiare a patto che si decodifichi l'opera pittorica e gli stessi pittori, seguendo almeno tre criteri differenti di giudizio::

- 1) Il criterio popolare, massivo, dilettantistico fondato sul semplice piacere della visione.** Da questo punto di vista è ovvio che la figura di una ciotola ricolma di frutta colorata desta piacere più della figura di un cesto vuoto o con frutta e verdure avvizzite. Sempre da questo punto di vista è ovvio che una pittura fotografica di una realtà alimentare per es le attuali foto pubblicitarie, piaccia di più di una pittura astratta o simbolica che rappresenta una verità non

riconoscibile e da decifrare. **2)** Il criterio successivo strettamente scolastico, da liceo artistico o da accademia è quello degli insegnanti, dei professori, dei tecnici in senso strettamente specifico, che chiameremo “di disegno dal vero”, sia esso di nature morte, paesaggi, o di corpi animali o di nudi umani o di architetture antiche o moderne. Da questo punto di vista ci si riferisce ai bozzetti, agli studi d'ombre, agli impasti cromatici e così via. Qui valgono le figure astratte, le pitture senza disegno interpretabili a colpo d'occhio. **3)** Infine c'è il criterio dell'arte raggiunta o mancata dal pittore. La valutazione del valore artistico supera di gran lunga la valutazione del gusto e dell'abilità tecnica. (14)

6. Arte e interpretazioni

In Italia il critico d'arte Matteo Marangoni (Firenze 1876 - Pisa 1958) con il suo libro “ Saper vedere la pittura fece una distinzione netta tra due soggetti di una pittura, che definì soggetto storico e soggetto pittorico.(14) Per intenderci, prendiamo una favola :la trama della favola è il soggetto storico della favola stessa. La morale della favola è, invece, il soggetto pittorico. Come nelle favole a seconda degli autori e delle epoche, è diversa la complessità di decodifica (nelle favole greche di Esopo, latine di Fedro, francesi di La Fontane, romanesche di Trilussa e di Giuseppe Gioacchino Belli, la distinzione tra racconto e morale, tra fatti ed interpretazioni, mezzi e fini, sono assai facili da ricostruire e rielaborare senza enormi sforzi di pensiero), così anche nella pittura le difficoltà sono diverse per via degli autori. Poiché però la storia della pittura greca e della pittura romana, nonché di quella etrusca o di quella delle caverne è una storia di scarso valore artistico mentre alto è il valore della scultura e dell'architettura, l'analisi di questi criteri è da applicare essenzialmente alle opere pittoriche a datare dal 1200 in funzione del fatto che l'evo antico finisce nel 476 dopo Cristo con la caduta dell'Impero romano e dell'ultimo imperatore Romolo Augustolo. Dal 476 inizia l'evo medio, che termina nel 1492 con la scoperta dell'America da parte di Cristoforo Colombo. Il Medio evo dura, dunque, 1016 anni ossia $1492 - 476 = 1.016$. Nei primi 500 anni ci sono i Mosaici, di grande rilevanza: significativi quelli di Ravenna, cioè bizantini e poi quelli siciliani di Monreale e di Palermo. (Cappella Palatina).

7. Stili e analisi Il mosaico piace sempre a tutti, come a tutti piacciono i pavimenti di marmo, perché entrambi esprimono il potere e la ricchezza della materia prima, dell'oro e delle pietre colorate come i lapislazzuli che attraggono e scatenano sogni e desideri di identificazione. Il materiale è ricco e costoso; la sua messa in opera presenta grande abilità artigianale che rilevano certo qualità di merito obiettivo. Le icone rappresentano figure non proprio somiglianti al vero, ma

questo viene, se non proprio perdonato, quanto meno accolto e giustificato per via che si attribuisce alla inadeguatezza delle tessere a rendere un disegno continuo e sfumato ed espressivo come un disegno a carboncino o a gesso colorato. Come un canale della comunicazione le tessere dei mosaici sono un bias nella trasmissione delle informazioni pittoriche, ma resta che i mosaici, come i dolci e i gelati, esaltano il colore per via di tante tessere e sapori che mischiati fra loro piacciono e generano il massimo edonismo. Le figure dei mosaici sono piatte, senza spessore, senza profondità, schiacciate, ma la loro arte sta nel fatto che le figure sono simboli e anime dei personaggi, non i loro corpi : gli Io e non i Sé, direbbe la psicologia. Si pensi alle icone di san Marco a Venezia e a quelle di Pomposa e di sant'Apollinare in classe. Il mosaico comunica simboli per esprimersi in modo convincente: le pecore raffigurano le anime, le aureole, inventate appunto dal mosaico, sono gradi di santità, di valore mistico. L'acqua che scorre dalle fonti o dalle fontane non è acqua, ma ciò che con l'acqua si intese di rappresentare, cioè la vita mistica, la grazia eccetera. Anche la grandezza delle ali degli angeli ha un valore gerarchico. Chi ce le ha più grandi è un serafino o un cherubino, chi ce le ha più piccole è un arcangelo o semplicemente un angelo semplice. Anche il numero delle ali conta. Ci sono angeli con sei ali, con quattro, con due. I santi e le sante umani hanno in mano sempre una elemento floreale che serve certamente ad arricchire la raffigurazione, ma anche a darle dei significati leggermente articolati. Le figure sono fantasmi gioiosi e sereni. Il Mosaico è arte bizantina, orientale. Arte non nel senso di ARS latina ed occidentale ma di teknè greca. Soprattutto il mosaico serve di illustrazione, come le favole succitate, con scene di facile lettura : Il sacrificio di Isacco, il serpente dell'Eden, l'arca di Noè, i Magi, il presepio ecc , senza indulgere al contorno, alla decorazione, al superfluo. Il Mosaico è un telegramma, un SMS, uno SPOT!!! Come le moderne persuasioni commerciali, il mosaico esercita una potente suggestione con le sue figure, oggi diremmo retoriche a suggestione indotta, come rivela l'emozione che suscitano le sue rappresentazioni di figure enormi e maestose, che definiscono la vera arte definendo il resto come decorazione, garbo, arredamento che fanno della "Cena" per eccellenza, una moderna scenografia teatrale.



L'ultima cena" Mosaico bizantino del VI Sec Ravenn

Dopo l'anno mille comincia la tempera su muro e su legno. Rappresentanti illustri come Cimabue, maestro di Giotto Bondone coevo di Dante Alighieri in Firenze e dintorni, fanno scuola. Cimabue ripete in pittura quello che era stato fatto in mosaico, ma con le differenze del caso e cioè con la maggiore capacità di rendere continuo il colore impastando le tinte. La pittura nasce povera, mentre il mosaico

muore ricco. Con Giotto c'è anche fra Giovanni da Fiesole, domenicano, che affresca i cortili dei conventi e le lunette dei soffitti delle cappelle, anche in Vaticano, anche ad Orvieto. E c'è pure Gentile da Fabriano, Beato Angelico : i tre sono Artisti autentici. Poi ci sono i Simone Martini, i Duccio da Buoninsegna e i pittori di Scuola o di Scuole, cioè gli allievi dei tre grandi sopra citati. I secoli di questi tre artisti sono il Duecento ed il Trecento, da Dante a Petrarca, in epoca Comunale. L'arte di Giotto, Gentile e Beato A., consiste nel fatto che essi fanno coincidere i due soggetti della pittura e cioè il soggetto storico con il soggetto pittorico, ossia, dipingono il sentimento che la scena ispira, promuove, provoca, per effetto anche dei colori che, come più tardi affermò Kandisky, "ha suoi propri valori espressivi e spirituali". Prendiamo ad es Giotto, che dipinge essenzialmente due storie ; la storia di Cristo nella cappella degli Scrovegni a Padova e la storia di san Francesco nella basilica di Assisi. Le storie sono biografie illustrate. Si comincia con la nascita e si finisce con la morte. La storia è divisa in quadri, come odierni fotogrammi, o sequenze fotografiche. Per ogni quadro, **Giotto** dipinge il sentimento, che è l'emozione meditata di chi guarda l'affresco murale. Prendiamo "L'ultima cena", che rispetto a quella del mosaico, non è più teatro, ma dramma composto: gli alimenti non si vedono, come poco si vedono i volti, ma il pathos della morte, del tradimento, della fame di lealtà e di verità è proprio in quei piatti senza cibo in quei corpi senza sguardi di relazione ma fissi come ammutoliti, rappresentati dal pallore dei colori, spezzati dall'ansia dei rossi del Cristo e in parte dell'apostolo Giacomo Maggiore, prediletto e quindi anche cromaticamente segnato dallo stesso imminente martirio.

"L'ultima cena"



Giotto 1267-1337



Leonardo 1495

Il secolo quattrocento (dal 1400 al 1500) (inclusa la scoperta dell'America del 1492) è il tempo di Leonardo, del Carpaccio, di Masaccio. Sono i tre artisti del quattrocento ovvero dell'Umanesimo. Questi tre non dipingono storie, ma fatti isolati, episodici, a sé stanti. Vittore Carpaccio dipinge cerimonie corali che si svolgono a Venezia. Pittore di manifestazioni di popolo e di autorità. Infiniti personaggi di una folla numerosa. Infinite facce, infiniti volti, infiniti vestiti e mode. Canali e palazzi e ponti di Venezia. Ciò che importa in Carpaccio non è

tanto il soggetto storico, cioè il fatto dipinto, la manifestazione, la cerimonia, bensì l'arte del Carpaccio sta nell'aver dipinto il nesso tra il movimento e la stasi, tra il moto e la quiete. Il moto delle sue figure è un moto reso impossibile dalla stessa folla che riempie gli spazi e nondimeno tutti si muovono dando un senso di quiete forzata o forzata od obbligata. Ecco dunque che il soggetto storico, materia di disegno e di rappresentazione ricchissima di colori differenti di vestiti e cappelli, non è di interesse per Carpaccio, che, invece è affascinato dal problema meccanico del moto e della quiete in condizioni di vincoli. In breve, Carpaccio dipinge quegli spostamenti che in ingegneria a scienza delle costruzioni si chiamano " virtuali ", cioè " possibili ", ma non effettivi, come in tempi moderni accade ai tanti che si incontrano e navigano in internet tutti saldamente inchiodati a sedie e poltrone, al pari delle nature morte che mimano desideri di vario tipo dal potere al gusto, nella immobilità totale Leonardo dipinge il gioco della luce e dell'ombra, che crea la penombra, o quasi-ombra, metafora dell'eterno ambiguo tra il femminile e il maschile, tra l'azione e l'immobilità, il desiderio e la sua realizzazione. La sua "cena", esplosione di penombre, esalta un Cristo rassegnato come "dice" la parte blu del manto e sacrificale, nel resto rosso del vestito, in una fantasia sgomenta e incredula suscitata negli apostoli al "mi tradirà" espressa dalle ombre dei colori che simboleggiano quelle dei dubbi. Dopo Leonardo inizia l'epoca di pittori dal talento tecnico senza però grande valore artistico, autori di soggetti storici.



"Il Bacchanale" Tiziano 1490-1576

Comincia il 600 non prima che Tiziano racconti l'esperienza pittorica del suo Bacchanale l'alimentazione espressione del potere della ricchezza, sfarzo, spreco, offesa alla grande fame dell'epoca: le figure del Bacchanale rivelano l'edonismo lascivo dello spreco, imitato in modo formale ma villanamente plebeo nel Matrimonio contadino (1568) di Pieter Brueghel, fiammingo e fotografo di una emergente classe piccolo borghese, che farà del cibo la propria targhetta di riconoscimento per affrancarsi dalle misere condizioni di un contado depresso e mortificato che appare ancora in tutta la sua voracità famelica nel mangiatore di fagioli di Annibale Carracci (1583).



"Matrimonio contadino" P. Brueghel 1568



"Il mangiatore di fagioli" A. Carracci 1583

Tanta disperata drammaticità, resa con il colore della terra povera come la polvere, vive ancora nella straziante allucinata solitudine dei “Mangiatori di patate” di Van Gogh che –identificando l’arte con la vita- appare emotivamente nel quadro, fra le ombre delle lampade, che simboleggiano la sua disperata fame di relazione (1885).



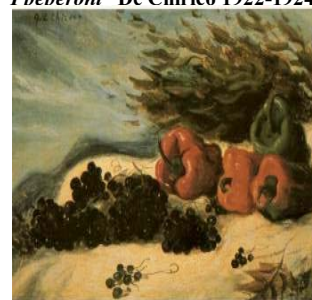
“I mangiatori di patate” V. van Gogh 1885

Ben diverso il mondo alimentare fotografico e infantile reso nella rappresentazione storica del cesto di frutta del romantico Renoir presente anche nei più moderni “peperoni” di De Chirico, ormai testimone di un benessere che va diffondendosi ma ancora non testimoni dell’affidamento al cibo di identificazioni ed emozioni sensoriali che solo il postmoderno saprà far esplodere, come la scatenata cromaticità preoccupatamente oscurata del “Trionfo dei fast food” di Frederick H. Hurd, metafora - nel superficiale accostamento di colori emozionali - della rappresentazione delle molteplici sensorialità del gusto e della frenetica alimentazione industriale.

“Frutta dal Midi” P.-A.Renoir 1881



“I peperoni” De Chirico 1922-1924



“Trionfo del fast food” F. H. Hurd 199



Da cuscinetto fra il benessere e lo spreco c'è la guerra, la deprivazione, l'ombra che coprirà tutti i colori fatta eccezione per il rosso, unico testimone della muta parola con la quale parla il simbolo reale dello sbigottito terrore fatto di fame, crudeltà e sangue come rappresentato da David Olère nel "Il cibo dei morti per i vivi".



"Il cibo dei morti per i vivi" D. Olère 1940

Colore come comunicazione complessa in antitesi alla semplificazione del disegno, è introdotto da quelli che nel primo novecento furono espressionisti come Munch, per il quale i "gialli urlano", ma soprattutto i moderni fauvismi "feroci" enfattizzatori del colore, come Matisse, mancato avvocato, per nostra fortuna, che ha ricercato e trovato l'armonia nei colori della pittura e non della realtà, rendendoli interiori, vocazione, incanto", integrando la sua qualità di artista con l'amore critico per Van Gogh e Gauguin, le arti orientali, le ceramiche persiane, le stoffe moresche, la spiritualità delle arti africane ecc. (15)

8. Colore e riflessioni

Il colore ha suscitato grandi interessi, ma, solo in tempi diciamo attuali, se ne è evidenziato soprattutto quello intorno al suo contenuto emotivo ed espressivo, specie a datare da Goethe che già nel 1810 affermava "Agli uomini il colore dona in genere grande diletto". Anzi, li categorizzò addirittura in "più e "meno" a seconda che inducessero sensazioni rapide e vitali (gialli-rossi) o agitazione e ansia (blu-verdi) (1). In campo alimentare la rappresentazione cromatica dei paesaggi interiori hanno fatto la differenza tra la fame e l'abbondanza :Dalle colorate e abbondanti rappresentazioni della ricchezza (selvaggina e frutta delle nature morte che invadono la pittura fino all'600), si passa a scoloriti tavoli o a brocche d'acqua o vino della casa, del primo dopo guerra, rapidamente passando dall'arte alla realtà. Caposcuola della avanguardia di questo aspetto dell'arte alimentare è Andy Warhol che, nella sua arte, rappresenta, come foto, oggetti alimentari e ne riassume il valore emozionale proiettato in essi , con una sorprendente affermazione nella quale esorta a "Esagerare per sorprendere, mascherarsi. Esaltare l'esaltabile, vendere anche la madre, se questo potesse mai servire..."creare per vendere, vendere per far soldi.". L'ambiente sociale ben si riconosce in questo emotivo invito all'edonismo del profitto osservando come ogni luogo ormai sia un foodspace, dove i luoghi di consumo e acquisto sono anche gallerie di esposizione o ambienti non più di produzione ma, come per molti vecchi forni, novelle boutiques, con arredi pretenziosi e prodotti lavorati

al limite del “cesello” e “intarsio”, per ottenere un prodotto più "artistico" che alimentare spogliandolo di gran parte del suo valore sacrale di immagine simbolo lontano dalle degli alimenti “poveri” che ci erano sembrati grigi come i poveri vestiti da emigrante, ma che pure testimoniavano una identità nelle terre di “Bengodi” che hanno trasformato generazioni monocromatiche in tribù colorate.

9. Emozioni

Si utilizza spesso il termine emozione, ma poco ci si accosta al contenuto, pur se le emozioni presenta la peculiarità dell'interazione, che le rende duttili, assimilabili, docili, comprensibili” come appare nella disamina delle singole culture. (16) Se ci soffermiamo per es su alcuni testi giapponesi, notiamo con frequenza citato un sentimento sotto il vocabolo “amae”, che però non è mai molto approfondito, ma è riferito ad “una dolce dipendenza fra esseri”, simile un po’ al nostro semplicistico “voler bene”. Ugualmente accade per l'intraducibile inglese “cosiness”, che rappresenta il sentimento di benessere che traiamo quando siamo in certi luoghi come paesaggi, antiche dimore ecc (16).Harrè, un autore che ha cercato di approfondire l'argomento, afferma che si è molto studiato l'aspetto concreto, fisiologico, tangibile delle emozioni, ma non il fitto “repertorio” emotivo dell'uomo.(17) anche per lo strapotere che in passato hanno avuto gli studi cognitivisti, a scapito dell'interesse per lo studio scientifico delle emozioni. Eppure esse sono funzionali “stati di pre - allarme utili all'uomo, ma spesso egli non le conosce o le usa male. Le emozioni hanno radici motivazionali, di adattamento, di evoluzione e organizzazione di comportamenti compresi quelli originati dalle pulsioni come il sesso e la fame. Accade così che oggi, nonostante sempre più si mangi in risposta a stati emotivi (per ragioni sociali o terapeutiche o per sedare l'ansia o riempire il vuoto melanconico ecc),anziché per fame, le ricerche scientifiche in campo alimentare, solo da pochi anni, hanno allargato lo sguardo alle componenti emozionali alla base di eccessi alimentari come rileva S.Schachter (17) sottoposti alla pressione di “indicatori situazionali “sociali e di massa”, (exposure, pubblicità,. cibo a portata di mano o di percezione, persone che mangiano o parlano di cibo ecc), che richiedono analisi e studi sulla psicologia individuale e dei gruppi oltre che seri interrogativi alle spesso spregiudicate strategie di marketing che non a caso ormai è definito "esperenziale". La rinnovata attenzione per la sfera del sensibile, che da tempo domina la ricerca artistica, influenza infatti anche il marketing, secondo le teorie di Bernd Schmitt, della Columbia University. Egli definisce infatti "esperenziale" il mercato postmoderno che si basa sull'esperienza del consumo e non del prodotto in sé, percorrendo diverse vie esperenziali :(Strategic Experiential Modules) che coinvolgono la percezione sensoriale, i sentimenti, le emozioni, la fisicità e le relazioni.(18).

L'emozione intesa come condimento della vita e “sale del piacere gustativo”, invade ormai i moderni sistemi di comunicazione, ma, rispetto all'arte che non ha mai disatteso questo percorso, va per strade fondamentalmente di profitto dirigendosi non a "spettatori" ma a “consumatori” che, più che "alimentarsi"

e crescere nei colori", "consumano" rapidamente celebrando ricorrenti trionfi "dei fast food" reali o simbolici.

Bibliografia

1. J.W. von Goethe "La Teoria dei colori"- Ed. Il Saggiatore, Milano, 1979
2. R. Arnheim "Arte e Percezione Visiva" Ed. Feltrinelli., Milano, 2000
3. V.Teti "Il colore del cibo. Geografia, mito e realtà dell'alimentazione mediterranea" Ed. Meltemi (Gli argonauti), Roma, 1999
4. "Coloring of food ": in Encyclopedia "Foods and Nutrition" Vol I - II Ed. Andrey H. Ensminger, London, 1994
5. F.Aubaile – Sallenave "Il colore nel cibo mediterraneo": in A.Barusi, F.Xavier Medina & G.Colesanti "El Color en la alimentación Mediterránea"- Atti del II Simposio Internazionale "Alimentazione Mediterranea", Barcellona, 1997
6. O. Sacks "Un antropologo su marte" Ed. Adelphi, Milano, 1995
7. W. Kandinsky "Tutti gli scritti". Vol. I-II - Ed Feltrinelli, Milano, 1974
8. L. Cioffi. MP. Graziani "La scelta di alimenti: approccio psico fisiologico", pp.55-79: in A. Mariani-Costantini, C. Cannella, G. Tommasi "Fondamenti di Nutrizione Umana" Ed Il Pensiero Scientifico, Roma, 1999
9. MP.Graziani e all. "Colores y alimentacion" in: El Color en la alimentación Mediterránea .Atti Simposio Internazionale Alimentazione Mediterranea, Barcellona, 1997
10. M. Bisogni "La vie en rose" Ed. Piovan, Abano, 1988
11. S. Ginger "La Gestalt" Ed. Mediterranee, Roma, 1990
12. G.M. Luquet "Le dessin enfantin" Ed Armando, Roma, 1969
13. C G Jung "Realtà dell'anima" Ed Boringhieri Torino, 1970
14. M. Marangoni "Saper vedere. Come si guarda un'opera d'arte". Ed.Garzanti, 1986
15. Enciclopedia dell'arte Ed Garzanti 1978
16. E.Tiberi "Il primato delle emozioni" Ed Giuffrè-Milano 1988
17. R.Harrè."Motives and Mechanism" Pshychology dell'action" Methuen, London, 1985
18. D.Riccò, Sinestesie per il design – le interazioni sensoriali nell'epoca dei multimedia, ETAS 1999
19. *Nota* Si ringrazia l'Ing Francesco M. Piccari, già primo ricercatore CNR, per la consulenza scientifica

Design a colori. Habitat e anziani. Esperienze di ricerca e sperimentazione

Raffaella Fagnoni

Dipartimento di Scienze per l'Architettura | Università di Genova
Stradone Sant'Agostino 37, 16123 Genova, tel. 010. 20951809
fagnoni@arch.unige.it

Il testo presenta l'esperienza svolta nell'ambito della ricerca oggetto della convenzione stipulata fra Boero Spa e il Dipartimento di Scienze per l'Architettura della Facoltà di Architettura di Genova¹.

Introduzione

Gli anziani raccontano a colori. Raccontano le storie della loro vita, utilizzando toni caldi e brillanti, colori forti, a volte cupi.

"Penso che il colore faccia parte di ciascuno di noi, non si può pensare che nella nostra storia, nei nostri pensieri non ci sia il colore. Il colore porta sempre una gaiezza, è proprio sale del vivere. Alcuni pazienti, dopo che avevano fatto l'intervista con la psicologa mi dicevano che non avevano mai pensato che quel certo avvenimento della loro vita fosse così pieno di colori ed erano contenti di averlo scoperto." (sig. Rita)²

Il sistema design che ha le sue radici nella formazione nel progetto con l'obiettivo di migliorare la qualità della vita delle persone, va oltre la dimensione del prodotto e si allarga al progetto di strategia e di esperienza, per interagire con la qualità dell'abitare, del quotidiano. Le *sensazioni* specifiche che oggetti e spazi producono, aiutano a stabilire i ruoli in termini sociali. Viceversa, attraverso il progetto si connotano gli spazi e gli oggetti in modo tale che essi inducano particolari effetti sulla vita che in essi e con essi si svolge.

Questo studio rientra nel filone di ricerca, attivo da diversi anni nella nostra scuola, che vede protagonisti i soggetti più deboli, fra cui gli anziani. Un ambito nel quale si è distinta la *progettazione amichevole*, un modo di progettare che si prefigge di stabilire fra il prodotto, lo spazio ed il suo utente un rapporto di amicizia, di

1 Unità di Ricerca:

prof. M. Benedetta Spadolini, preside Facoltà di Architettura, responsabile scientifico
arch. Raffaella Fagnoni, DSA | Facoltà di Architettura di Genova | ricercatore SSD Icar 13, Coordinamento e responsabilità della ricerca

dott. Marilena Chirivi, psicologa | prof. a contratto Facoltà di Architettura di Genova, Ricerca sperimentale, indagine conoscitiva qualitativa

arch. Michele Lagomarsino, Facoltà di Architettura di Genova, dottorato SSD Icar 13, Sperimentazione applicativa.

Staff Boero: dott.ssa Olga Bottaro, Direttore Ricerca e Sviluppo e Direttore Marketing, arch. Manuela Costa, Promozione e Sviluppo Linea Edilizia Boero, dott.ssa Paola Baldoni, Immagine e Comunicazione Boero, Giampaolo Pasino, product manager Linea Edilizia Boero.

Hanno collaborato:

prof. Paola Gambaro, arch. Piero Balbo, arch. Annalisa Cirilli, prof. dott. Giuliano Carlini Facoltà di Sociologia di Genova, arch. Francesca Stabilini e arch. Alda Costarelli, dottorande Facoltà di Architettura di Genova.

2 Operatrice e responsabile del personale, Casa di Riposo San Camillo, Genova

simpatia, di fiducia, di complicità. Un metodo in cui la dimensione *amichevole*, che parte dal vissuto e dalle vicende personali, induce a comportamenti più sereni e rilassati, richiama pensieri e immagini familiari e guida nel processo progettuale per sviluppare nuovi prodotti, nuovi spazi. In questo contesto ha un ruolo importante il colore, come componente qualificante dello spazio, ma spesso, come ad esempio nel caso dei malati del morbo di Alzheimer, anche come elemento di ausilio per distinguere, riconoscere, personalizzare, supportare l'autonomia nello svolgimento delle azioni quotidiane. In questo ambito, la ricerca condotta si è posta l'obiettivo di individuare e sperimentare indicazioni metodologiche per un corretto utilizzo del colore nei luoghi destinati alla quotidianità dell'utente anziano. Come viene percepito il colore, quale sono i significati che ad esso si attribuiscono? Se il colore si fonde con i ricordi, le aspettative, i desideri, è possibile servirsene per ricreare spazi *amichevoli* in cui riallacciare i fili della propria vita a volte spezzati a causa del distacco dal proprio ambiente?

1. La ricerca

Fin dall'inizio è stata scelta la strategia di utilizzare il colore per la sua valenza strutturale nei confronti dell'ambiente interno, habitat dei soggetti più deboli e delle situazioni più delicate, come ambienti di cura, istituti per anziani. La stretta relazione individuo – spazi – oggetti, genera situazioni relazionali che influiscono in maniera determinante sulla qualità dell'habitat e della vita che in esso si svolge. Questo accade non solo per gli *ospiti*, come gli anziani nel caso in esame, ma anche per il personale, con ripercussioni anche a livello organizzativo e gestionale.

La ricerca investe direttamente l'ambito della qualità dell'ambiente, e il ruolo del colore, a livello sperimentale, sulla *qualità affettiva percepita*³, frutto della percezione mediata dall'esperienza vissuta, in particolare per l'utenza anziana. Lo stesso percorso in fasi successive si rivolge ad altri contesti, quali il mondo della scuola e della sanità.

Questo approccio al tema predilige il lavoro sugli effetti psicologici del colore: come viene percepito, quale sono i significati che ad esso si attribuiscono.

La prima fase ha indagato i campi della ricerca di base sul colore, dalla fisica alla psicologia, ricavando ed elaborando successivamente le indicazioni relative ai significati, all'uso, alla percezione, agli effetti di ciascuno dei colori codificati simbolicamente: rosso, arancione, giallo, verde, blu, viola, bianco, nero.

L'uso del colore come segno, segnale, comunicazione, parte della storia dell'uomo. Fin dall'antichità ornamento, decoro, "strumento" terapeutico, per la persona, per l'ambiente domestico, per la collettività. Un uso che è andato evolvendosi e adeguandosi ai differenti contesti storici, geografici, sociali, culturali.

Il colore come componente della qualità degli oggetti e dello spazio.

Il tema della qualità coinvolge le dimensioni dell'esperienza e della fruizione.

³ Riguardo ai concetti di *qualità di fatto* e *qualità affettiva percepita* cfr. la teoria del luogo di Canter, D., 1977, *The psychology of place*, Architectural Press, London, e Omachonu, V.K. (1990) *Qualità of care and patient in "Health care management review"* 15, pag. 43-50

Il termine esperienza, riferito ad attività di design, è il risultato di una riflessione multidisciplinare sull'interazione uomo-ambiente. Indica un approccio al progetto centrato sulla persona, una modalità che coinvolge la comprensione, il miglioramento e la progettazione della situazione individuale, con speciale riferimento al coinvolgimento emotivo nell'interazione. Le qualità che rendono apprezzabile un prodotto o un servizio sono genericamente suddivisibili in:

> qualità cognitive – razionali, comportamentali e riflessive

> qualità emozionali – fenomeniche, comportamentali, viscerali⁴.

Il livello viscerale di un progetto, o di un prodotto, di uno spazio, riguarda l'impatto iniziale, l'apparenza, le sensazioni che produce, il beneficio emotivo. E' ciò che fa dire "che bello" ancora prima di sapere cos'è. Il livello riflessivo riguarda l'utilizzazione, la fruizione. Si riferisce alla funzionalità e al rispetto delle esigenze. Il livello comportamentale si riferisce a situazioni su cui si proietta la propria immagine o quella vorremmo.

Nel caso oggetto di studio, ciò che il luogo deve comunicare è prima di tutto un'immagine positiva che attenui il senso di insicurezza che caratterizza l'utente anziano in ambiente di degenza o in istituto. L'immagine positiva si costruisce oltre con tutte le qualità e gli attributi dello spazio anche con elementi immateriali quali ad es. l'ospitalità e il servizio che coinvolgono in maniera determinante gli operatori. Il ruolo del colore sarà tanto maggiore quanto maggiore sarà il processo di partecipazione ed il coinvolgimento nel progetto in generale dell'utenza a tutti i livelli, e dunque non solo i degenti ma anche il personale e i parenti e/o visitatori.

Infatti la familiarità con il contesto ha livelli diversi per il personale e per i degenti: ad esempio spesso il degente è spaesato, mentre il personale vive la sua quotidianità di ambiente lavorativo.

Il progetto del colore si propone di armonizzare tutte le componenti che entrano in gioco nella definizione dello spazio, e nella percezione, l'influenza sulle funzioni, sulla mente e sulle emozioni. Le competenze e le analisi critiche portano a suggerire le scelte progettuali.

La conoscenza deriva dall'afferrare e trasformare le esigenze che conosciamo⁵.

Per questo il progetto, nella sperimentazione svolta, ha indirizzato la strategia con la scelta di ascoltare gli anziani e utilizzare il legame emerso fra le vicende dei propri vissuti, ed i colori. Il colore può essere uno strumento che, opportunamente utilizzato da operatori come occasione di stimolo, supporta ed agevola l'utente nel creare un suo legame con l'ambiente, alleviando la pesante sensazione di distacco dalle proprie radici che emerge con frequenza fra le cause di disagio degli anziani in istituto.

4 Inghilleri, P. *La «buona vita». Per l'uso creativo degli oggetti nella società dell'abbondanza* Guerini e Associati, Milano, 2003, Norman, D. 2004, *Emotional Design. Why we love (or hate) everyday things*, New York, USA, Basic Books, 2004, ed. It. *Emotional design. Perché amiamo (o odiamo) gli oggetti di tutti i giorni*, Ed. Apogeo, 2004

5 "Learning is the process whereby knowledge is created through the transformation of experience. Knowledge results from the combination of grasping and transformation experience" [Kolb D.A. 1984, *Experiential learning. Experience as the source of learning and development*. New Jersey : prentice-hall pag. 41

2. Il metodo

La creazione di un team multidisciplinare in cui integrare le competenze è stata la premessa e la soluzione che ha consentito lo svolgimento dell'esperienza.

Una volta espresse le esigenze della committenza, la strategia si è indirizzata verso l'elaborazione di un processo mirato non solo ad un uso *ad hoc* del colore, ma ad indagarne e sfruttarne le potenzialità come strumento per migliorare la qualità dell'ambiente quotidiano delle categorie più deboli di persone.

Il colore delle cose investe universi variegati: la storia del rapporto fra la persona e il modo di leggere l'ambiente, le condizioni emotive, i riflessi indotti dagli atteggiamenti culturali diffusi e poi introiettati in maniera differenziata, le influenze contingenti della cultura. In questo tipo di ricerca diventa importante scegliere tecniche di rilevazione che da un lato portino ad emergere gli atteggiamenti e le sensazioni di fondo che coinvolgono i soggetti (un procedimento come quello dell'intervista in profondità) e dall'altro garantiscano la possibilità di rilevare "reazioni oggettive" rispetto a stimoli visivi puntuali. Da ciò scaturisce la scelta di un'indagine qualitativa che operi sia nel senso della ricostruzione della storia personale rispetto alle reazioni suscitate dalla diversità dei colori, che nel confronto con colori specifici, capaci di dare un senso al complesso rapporto fra simbolismo, atteggiamenti culturali e condizioni psicologiche.

La valenza psicologica del colore

I colori, attraverso vie più o meno consapevoli, spesso inconscie, influiscono e interagiscono nei modi di dire, nelle tradizioni locali, nel vissuto collettivo fin dall'antichità e in ogni cultura. Proprio su questa dimensione, che riguarda la sfera affettivo – emozionale, si costruisce il metodo, basato sull'associazione colore – significato. L'analisi psicologica del colore implica l'esistenza di significati a livello inconscio che si esprimono sotto forma di simboli⁶. I significati espressi attraverso i simboli non sono collocabili nel contesto dei segni. "Verde" come indicatore di via libera, "rosso" come indicatore di divieto, "azzurri" per indicare gli atleti italiani, sono colori usati in modo convenzionale, come segni, in modo cosciente, intenzionale e culturale. Il simbolo è un'immagine che possiede un significato riposto e inconscio. La relazione tra simbolo e ciò che viene ipotizzato non è frutto di coincidenze o di convenzioni, ma intrinseco. Si può ipotizzare che taluni significati appartengano a un determinato colore grazie alle caratteristiche intrinseche che esso possiede ed è in queste proprietà che si fonda il valore simbolico del colore, riscontrabile nella mitologia, nel folklore, nelle superstizioni, nelle credenze popolari, nelle fiabe, nelle varie forme di arte.

⁶ Simbolo : immagine che possiede un significato riposto e inconscio. La relazione fra il simbolo e ciò che viene simbolizzato non è frutto di coincidenze o di convenzioni, ma intrinseca. Si può ipotizzare che taluni significati appartengano a un determinato colore grazie alle caratteristiche intrinseche che esso possiede ed è in queste proprietà intrinseche che si fonda il valore simbolico del colore. Ad es. è difficile dire che il carattere solare del giallo sia stabilito per convenzione culturale. Un oggetto simbolico (es. il colore) si riferisce a un'area tematica anche quando ne esprime la molteplicità dei contenuti e l'antinomia di significati. Utilizza un linguaggio inconscio. Cfr. E. JONES , *Teoria del simbolismo* , Roma , Astrolabio ,1972

3. La costruzione e lo svolgimento delle interviste

La causa principale del senso di disagio provato dagli anziani ricoverati, o residenti in centri specializzati di degenza, è lo sradicamento dal proprio contesto di origine, il senso di smarrimento causato dal distacco con il proprio passato.

Per la fase di indagine sulle relazioni fra colori, emozioni e l'affettività, si è scelto di ascoltare gli anziani direttamente nei luoghi in cui vivono, di entrare con loro nel mondo dei ricordi. Gli episodi della vita dei singoli individui, spesso connotati da una forte carica emotiva, vengono abbinati ai colori. Un dialogo tra valori di intimità e socializzazione, fra passato e presente, in una dialettica di separazione integrazione. Una prima fase sperimentale di colloqui è servita da test per il tipo di intervista. Strutturata attraverso associazioni fra elementi della natura e sensazioni, azioni del quotidiano e colori, episodi della vita e colori, ha messo in evidenza che non solo il legame fra colori, ricordi, emozioni, affetti, è molto forte, ma che *colorare* i propri ricordi assume un significato particolare: il colore si collega in modo diretto al mondo dei simboli, dando una particolare risonanza alle immagini che emergono dalla memoria.

Sono stati predisposti i campioni organizzati secondo sei cartelle: viola, blu, verde, giallo, arancio, rosso. Ciascun colore è rappresentato in più tonalità: dalla più satura a quella che può essere assimilata a un colore neutro. Per facilitare l'instaurarsi di un clima di sereno riemergere di ricordi ed emozioni e facilitare l'accesso al colore come sintesi significativa, tutte le interviste⁷ partono dal racconto della propria vita. L'intervistato, rassicurato sul fatto che non esistono risposte giuste o sbagliate, seleziona dai campioni il colore da associare a ciò che racconta. (cfr. immagine 1)

4. Elaborazioni dei dati emersi

Le successive elaborazioni attraverso grafici e tabelle empiriche sono l'elemento essenziale che consente una lettura inequivoca del quadro d'insieme e l'analisi dei dati, in modo da suggerire corretti spunti di interpretazione.

Il passaggio da narrazioni a tabulati e a visualizzazioni grafiche prevede step successivi di catalogazione ed elaborazione. La prima serie di prodotti estrapola dai testi i colori e le associazioni. Successivamente si compongono elenchi di tutte le risposte che riguardano ciascun colore. Una serie di elaborazioni consentono la formulazione di tabulati nei quali si associa ciascun colore alle sensazioni, emozioni, azioni, episodi. Il passo successivo consiste nella sintesi, attraverso la formulazione di categorie di lettura: Apertura agli altri. Emozioni sociali. Rapporti con gli altri, Stati d'animo. Rapporti con il Sé, Famiglia. Amicizia. Amore, Luoghi,

⁷ Tutte le interviste sono state effettuate dalla dott.ssa Marilena Chirivi. Il campione sociologico coinvolge tre gruppi di intervistati (65 – 75 anni, 76 – 85 anni, 86 – 90 e oltre). Per ogni gruppo 6 femmine e 4 maschi, tenuto conto dell'età media delle donne più alta. Sono stati coinvolti 2 istituti, con sede Genova: Istituto Beato Luigi don Guanella, Istituto san Camillo. Sono stati svolti colloqui e incontri anche con il personale sanitario e infermieristico, oltre che con la dirigenza. Si è riscontrato un forte coinvolgimento emotivo e una grande disponibilità ed interesse a tutti i livelli.

attività e fatti significativi, Attività del quotidiano, Età della vita, Tempi dell'anno, Sinestesia.

La molteplicità e la varietà dei dati raccolti con le interviste consente uno sguardo panoramico sulla vita degli anziani, con un gioco di rimandi tra passato e presente, mondo dei ricordi e realtà quotidiana, rapporti con gli altri e rapporto con se stessi. Il continuo riferimento ai colori aiuta ad accostarsi alla intensità delle emozioni, alla fatica del vivere quotidiano, al bisogno e alla ricerca di momenti di serenità e di allegria. Nelle prime categorie, i colori nominati più spesso sono il rosso per le situazioni di conflitto e di rottura e il viola per l'incomprensione e l'isolamento. In entrambi i casi si fa riferimento alla polarità negativa dei due colori. Anche il verde e il giallo si prestano a esprimere queste emozioni in quanto assimilati alla bile e alla putrefazione vegetale. La vitalità che la persona anziana sente ancora dentro spesso non trova il modo di esprimersi e di essere riconosciuta; questo porta a un ripiegamento su se stessi e a sentirsi incompresi. Si moltiplicano così le occasioni di scontro e le situazioni di conflitto in una sorta di circolo vizioso. "Il litigio è verde come la bile" (Isa 79); "la rabbia è verde marcio: il rosso dell'aggressività e il marcio di qualcosa che è morto dentro" (Gervasio 76). Il litigio e la rabbia sono "rosso intenso" (Giovanni 79), "rosso fuoco" (Carla 80), "viola come la tristezza" (Mery 70) "un litigio è giallo intenso furibondo" (Rita 65).

Nel racconto della propria vita, il passato diviene il luogo della "felicità, dell'allegria, della serenità, del benessere" nonostante le difficoltà contestuali. "Mancava tutto, ma non mancava niente" (Stella 86), "eravamo sfollati, ma avevo tante amiche" (Maria 79), "mi piaceva andare al mare, nuotavo come un pesce" (Giovanni 81), "la cucina, il camino acceso, tutti insieme" (Gervasio 67). Anche la vita in un orfanotrofio è un ricordo colorato di benessere "si andava a letto la sera tutte insieme, chiacchierare, giocare, saltare sui letti" (Filippa 74). E' come un allontanarsi dal presente, il rifugiarsi in un mondo di sentimenti idealizzati. E' una cura dell'anima, un antidoto alla rabbia, alla malinconia, alla nostalgia. "La malinconia consuma l'anima e il corpo, è viola" (Stella 86); "la malinconia è viola, quando litighi ti senti viola, mentre la rabbia è nera o rosso sangue" (Maria 79); "il dolore è rosso" (Akela 79); "il pianto era viola" (Filippa 74). La felicità, l'allegria e il benessere si colorano di verde, azzurro, giallo e arancio. Nella categoria dei *luoghi dell'anima* il colore più scelto è il rosso, che qui esprime l'energia, la forza vitale, l'intensità delle emozioni, il calore degli affetti, l'amore materno incondizionato e inalienabile. Subito dopo viene il blu, come simbolo di legami forti e profondi. Il blu è la tenerezza, la fedeltà, le carezze, il contatto fisico che è anche contatto con i sentimenti, con l'identificazione empatica con l'altro, la vicinanza, l'ascolto. Il verde è il gioco, è azione concreta e gioiosa, è la vitalità del bambino e la sua spinta centrifuga. Il giallo e l'arancio aggiungono l'ottimismo, l'apertura al futuro, ai desideri, ai sogni. Compare in modo significativo anche il bianco, simbolo di purezza, sincerità, fiducia, caratteristiche che sempre hanno i sentimenti più profondi, senza ombre e incrinature, incontaminati. Ma anche "il bianco dei gigli mi fa pensare anche alla morte di mia madre." (Paola 85)

Fra *i luoghi della vita* il colore più frequente è il giallo, colore solare per eccellenza. Il suo carattere centrifugo si presta bene a simboleggiare la spensieratezza dei momenti di gioco e di divertimento, uno squarcio di luce, un'apertura alla gioia. E' anche il simbolo della giovinezza tutta proiettata al futuro. Anche il verde, insieme al giallo, nelle risposte di questa parte dell'intervista, è scelto per dare un colore alla giovinezza; è il verde della clorofilla e della vita vegetativa, ma anche sostrato biologico su cui si sviluppa l'identità personale. Mentre il giallo e il verde sono usati nella loro polarità positiva, il blu è usato per indicare momenti di sereno divertimento, ma soprattutto per colorare la vecchiaia. E' il blu nella sua tonalità più vicina al nero, associato alla malinconia. Ritorna il bianco come simbolo di innocenza e purezza.

Dalle elaborazioni secondo *le attività che scandiscono la giornata* emerge una voglia di stare bene, il desiderio di vivere momenti di svago e di occupazioni piacevoli. "Mangiare è comunicazione. Azzurro forte creativo" (Francesca 70), "mangiare è allegria" (Giovanni 81), "mangiare, rosso, quasi come l'amore" (Carla 80). E poi, "cantare è la gioia del vivere. E' il liberarsi da un'ossessione" (Gervasio 67), "cantare mi dà gioia, anche se sono stonata" (Maria 79).

Il blu è il colore collegato al riposo e soprattutto alla preghiera; il blu nella sua dimensione simbolica di serenità, armonia, spiritualità e abbandono fiducioso. L'abbinamento con il verde aggiunge una sfumatura simbolica propria del verde: colore della speranza nella ripresa della vita. L'arancio e soprattutto il rosso sono collegati al cantare e al mangiare: la carica vitale e creativa dell'arancio, fecondata dalla forza rigeneratrice del rosso.

Nell'area tematica delle suggestioni polisensoriali, si è tenuto conto di quanto avviene quando una percezione trova corrispondenza in un altro senso. I sensi più coinvolti nella percezione polisensoriale sono il tatto e la vista, poco il gusto e l'olfatto, non compare l'udito. I colori che più di altri suscitano suggestioni polisensoriali sono il blu, il verde, e il giallo. "Un prato verde mi fa sentire l'odore del bucato, le lenzuola stese ad asciugare" (Maria 92); "giallo è un piatto di polenta" (Angelo 92).

Il sistema dei dati⁸ sui significati, le associazioni e gli effetti che gli utenti percepiscono ed hanno manifestato è costituito dai racconti, le storie di vita, tabelle, elaborazioni e grafici, oltre agli abbinamenti immagini-frasi.

Le immagini come strumento per la trasmissione di significato

Ogni immagine racconta una storia. In ogni dettaglio si possono leggere frammenti di un racconto, più o meno percepibile. Per dare forza ai concetti emersi dalle interviste, e alle relazioni fra colori e stati d'animo, alle frasi più significative sono state associate delle immagini, appositamente scattate ed elaborate. Questa fase chiude un ciclo, che vede i giovani coinvolti a creare immagini, in grado di esprimere le sensazioni cromatiche emerse dai racconti degli anziani. Memoria e narritività attraverso la visualizzazione. Da una parte un esercizio didattico,

⁸ Il sistema dei dati è contenuto nel volume Fagnoni, R. (a cura di) "Colori. Strategie di progetto per l'utenza debole" Alinea Ed. pubblicazione in corso di stampa, giugno 2006.

l'utilizzo delle immagini come strumento di trasmissione di significato, e dall'altra la possibilità di rendere forti e di dare visibilità alle parole e alle voci più deboli.

5. La sperimentazione applicativa

Sulla base dell'insieme dei parametri e dei risultati emersi dalle indagini, è stata sperimentata l'applicazione presso due istituti, la Casa di Riposo San Camillo a Genova e il Centro Alzheimer Massimo Lagostina ad Omegna.

Nel progetto del colore non esistono indicazioni certe e inconfutabili, e non è possibile proporre l'uso come ricetta cromatica, adattabile ai diversi ambienti, poiché sono molteplici le variabili che influiscono a caratterizzare ciascun luogo. Ad esempio la luce, la temperatura, l'esposizione, la forma, la collocazione, la dimensione, l'utenza che fruisce lo spazio, l'attività che in esso si svolge, sono tutti fattori che concorrono a definire il quadro esigenziale, e che si integrano con le specifiche relative a significati, associazioni, effetti indotti da ciascun colore.

La combinazione dei colori è un altro fattore determinante: è noto infatti come la percezione varia in base alle associazioni e alle armonie cromatiche. Si raggiungono effetti diversi a seconda delle varie tonalità che fra loro si armonizzano (se un rosso combinato con arancione, o rosa e giallo, richiama calore, simpatia, allegria, lo stesso rosso con il nero esprime pericolo).

Con la ricerca è stato messo a punto un metodo per la scelta del colore che parte dalle esperienze di vita degli utenti, nel caso dell'Istituto San Camillo, e attraverso fasi successive comprensive di prove e campionature in loco, arriva alla definizione cromatica, passando attraverso una importante fase di tinteggiatura virtuale. Attraverso la fotografia degli ambienti e l'utilizzo di elaborazioni digitali sono state effettuate le prove colore dei vari ambienti, generando e sperimentando armonie, alternanze cromatiche, composizioni al fine di raggiungere gli obiettivi preposti.

Per quanto riguarda il Centro Alzheimer, per le particolarità della patologia, sono stati invece seguiti specifici criteri che tengono conto di numerosi fattori⁹.

I colori emersi dalla sperimentazione sono forti, quasi provocatori. Questa scelta non entra in conflitto con il concetto di domesticità che vuole gli ambienti caratterizzati in maniera familiare, anzi si propone come ulteriore elemento di stimolo per la vita all'interno della struttura. E' importante che la casa sia l'ambiente in cui sentirsi accolto e protetto, oltre che il più possibile sicuro, e confortevole, trasmettendo positività e affettività.

⁹ Si rimanda a questo proposito a pubblicazioni specifiche:

Fagnoni, R. "Spazio terapeutico e ruolo del colore", in *Abitare anziani*, novembre 2005 pag. 29-33, Fagnoni, R. "Un modo diverso di vedere il mondo" in "Design e spazio terapeutico. L'ambiente per il paziente affetto da demenza". a cura di Stabilini, F., PTE EXPO 06, Edizione e diffusione Fin-Mark, Bologna, marzo 2006

La persona al centro del processo

Il progetto del colore non è una ricetta universale, ma un metodo di lavoro, un processo da riproporre e da sviluppare, adeguando e interpretando di volta in volta ciascun contesto e ciascuna situazione. Le sperimentazioni sono state accolte con grande entusiasmo e si è messo in moto un meccanismo di rivitalizzazione che ha coinvolto, oltre agli anziani, staff direzionali, operatori.



fig. 1
Le modalità di svolgimento dei colloqui fra la dott.ssa Chirivi e gli anziani

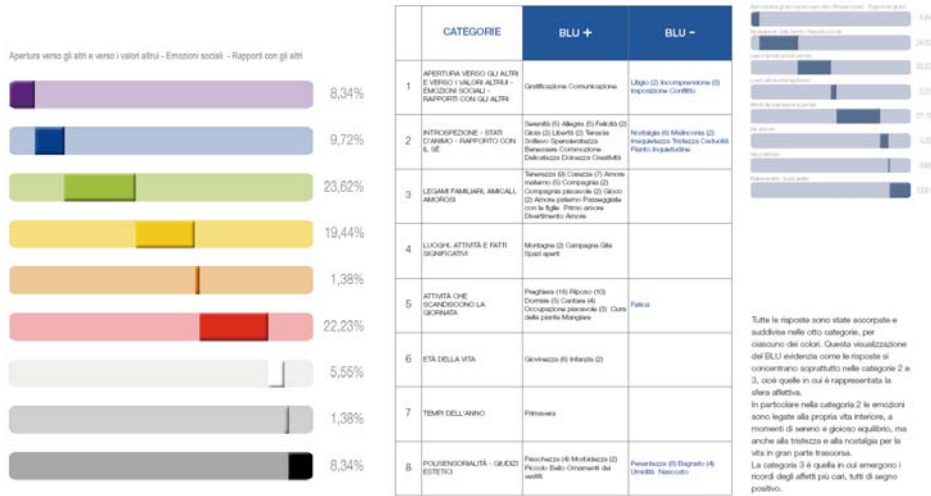


fig. 2
Alcune delle elaborazioni grafiche per l'analisi e la lettura dei dati



fig. 3
La fase di sperimentazione. Campionature, Posizionamento degli accostamenti Tinteggiatura



fig. 4
Alcuni ambienti dell'Istituto per Anziani San Camillo di Genova.

**Il colore dei significati:
il ruolo della policromia dall'effimero barocco
all'allestimento contemporaneo. Casi di studio in Sardegna.**

DONATELLA RITA FIORINO

DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA, UNIVERSITÀ DI CAGLIARI

AREA RESTAURO

Piazza d'Armi, 16 – 09123 Cagliari, Tel. 070 6755358

donatella.fiorino@polimi.it

1. Introduzione

Il linguaggio multimediale che governa ormai a vari livelli i sistemi di comunicazione tecnica e sociale trova nel colore un elemento di grande importanza e potenzialità espressiva. Ma il ruolo primario del colore nella materializzazione figurativa della comunicazione, ovvero nella creazione dell'immagine e dei suoi significati, ha antiche origini e si è manifestato in maniera differente nelle diverse aree geografiche e nei diversi contesti sociali regionali. In particolare l'uso delle cromie e delle policromie ha giocato un ruolo interessante nel rapporto tra i "centri" e le "periferie" dell'arte, costituendo l'elemento unificante di slogan comunicativi condivisi.

Il potere istituzionale, quello laico come quello religioso, ha da sempre utilizzato l'immagine con la duplice finalità di strumento di autocelebrazione e, contemporaneamente, di propaganda didattico-educativa. Laddove, però, tali istanze venivano ostacolate dalle ristrettezze economiche e dalla ridotta disponibilità di materiali pregiati, il colore, spesso usato secondo il criterio dell'imitazione, ha supplito a tali carenze, e ha consentito di trasferire, secondo codici di simbologie consolidate nel tempo e tramandate di padre in figlio, messaggi politici e sociali che ancor'oggi siamo in grado di decifrare grazie alla conferma di tali corrispondenze documentate da fonti archivistiche con dovizia di particolari preziosamente circostanziati.

Una tale consapevolezza ci ha permesso di poter delineare dei veri e propri codici di lettura del "significato del colori", ovvero della precisa corrispondenza tra istanza comunicativa e scelta cromatica, nell'arte come nell'architettura.

Questo premesso, si è verificato che la Sardegna costituisce un terreno di indagine privilegiato relativamente al ruolo del colore in quanto la mancanza di importanti Committenze e delle relative risorse, ha portato nei secoli ad un uso intensivo e fortemente simbolico del colore in tutte le forme di espressione: l'arte, l'architettura, i costumi tradizionali, gli oggetti quotidiani e le suppellettili

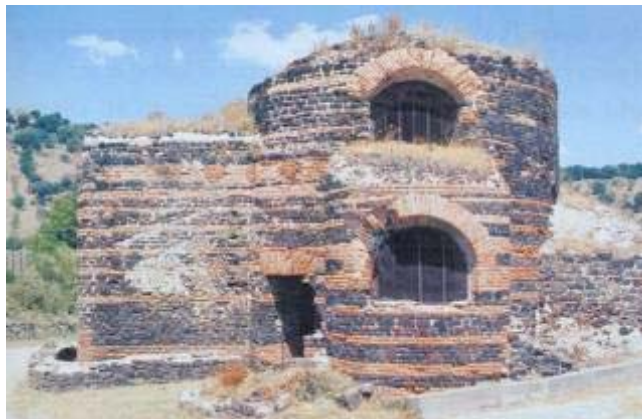
domestiche, fino all'enogastronomia dove, soprattutto nella produzione dolciaria, l'uso di carte e alimenti colorati ritrova puntualmente una precisa simbologia.

L'analisi del ruolo del colore nella comunicazione artistica attraverso alcuni casi significativi di studio di seguito esposti, intende sottolineare l'importanza del valore immateriale del colore, inteso come articolato patrimonio di significati. Da questo punto di vista, allora, sarà più opportuno non parlare del "significato dei colori", ma piuttosto del "colore dei significati", individuando nel colore un elemento non secondario che l'UNESCO considera parte del Patrimonio Immateriale dell'Umanità nel suo diretto discendere dalle volontà espressive della comunità che lo hanno prodotto.

2. La policromia in architettura: il colore della celebrazione

La scelta dei materiali nella storia dell'architettura trova costante compromesso tra l'istanza tecnico costruttiva, legata alla disponibilità e alle caratteristiche di resistenza e lavorabilità del materiale impiegato, e all'istanza estetica delle finalità percettive ed emotive dell'opera monumentale.

L'impiego di tecniche murarie miste con particolari esiti di associazioni cromatiche si riscontra, per esempio, nella singolare chiesa bizantina di Santa Maria di Bisarcio, caratterizzata da un paramento listato in basalto e laterizio. La tecnica ha finalità prettamente strutturali in quanto i corsi di laterizio consentono di regolarizzare i corsi irregolari di conci di basalto non perfettamente squadri data la difficoltà di lavorazione di tale materiale lapideo.



L'influsso delle forme e tecniche costruttive dalla Toscana si manifesta nel nord dell'isola nel XII secolo. Il riflesso del gusto maturato nella seconda metà del secolo a Pisa, Lucca e Pistoia si legge nella dicromia dei paramenti di **Nostra Signora di Saccargia presso Codrongianus (SS)**.

Bisogna però aspettare il periodo barocco per assistere anche nell'isola alla diffusione consapevole, anche se sempre cauta, del colore come ricerca di ricchezza espressiva e impatto scenografico.

Gli esempi mutuati dalla cultura piemontese del campanile della cattedrale di Oristano e della chiesa di Santa Sofia a San Vero Milis (OR), testimoniano la ricerca formale nell'associazione colore-materiale con finalità prettamente monumentali.



Il rosso della trachite, usato per gli elementi ornamentali, si associa alle maioliche colorate usate per le coperture sia nella loro conformazione a “scaglie” che come piastrelle, come si ritrova nella copertura della guglia della torre campanaria di Barisardo (NU).



Maggiore libertà nell'uso dei cromatismi si ritrova nelle decorazioni marmoree degli altari. La varietà nell'uso dei marmi policromi discende direttamente dalla tradizione ligure, introdotta dalle maestranze attive nell'isola per tutto il XVII e XVIII secolo. L'uso didattico-evocativo del colore si esplica, per esempio, nella

ricorrente scelta cromatica del nero per la realizzazione delle colonne tortili nell'altare maggiore delle chiese gesuitiche, in contrasto con capitelli e basamenti in marmo bianco.

Interessanti cromie intense accompagnano le dorature dei *retablos* di origine spagnola che ornano in maniera diffusa molte chiese della Sardegna. Affinità simboliche legano la colorazione delle figure a ciò che queste rappresentano secondo l'iconografia conforme alla matrice comune del mondo spagnolo.

Un doveroso richiamo riguarda inoltre il "colore delle città", o meglio i *colori* delle città per alcune delle quali la varietà diviene elemento tipicizzante. È il caso di Carloforte, urbanisticamente figliata dal sistema ligure e che, proprio nella varietà di cromie dei fronti, svela la sua identità.

3. Gli abiti: il colore delle tradizioni

Il costume della tradizione sarda, specialmente quello femminile, conserva elementi simbolici che è facile ritrovare come ricorrenti anche nell'architettura e nell'artigianato locale.

Per esempio, il tema della "rosetta" compare nella stessa foggia sugli abiti, come nelle decorazione ad intaglio ed intarsio dei mobili tradizionali, come anche a decorare "a manto" l'intradosso delle volte delle chiese del Meilogu.

Il "costume", arrivato a noi attraverso i secoli sostanzialmente inalterato, costituisce l'emblema identitario per tutti i sardi, il racconto non scritto della storia delle dominazioni, degli scambi e dell'isolamento delle diverse regioni dell'Isola, rappresenta cioè, il carattere profondo di un antico modo di vestire degli abitanti delle diverse comunità il quale, oltre che comunicare la provenienza di chi lo indossa, secondo le caratteristiche particolari di ogni paese, ne rivela l'estrazione e lo stato sociale. Ogni costume è un pezzo a sé, con peculiarità, colori e forme che seguono regole comuni nel disegno e differiscono nelle particolarità, comunque, sempre arricchito da preziosi ricami e rifiniture spesso accompagnati da gioielli che ben si adattano in un sapiente accostamento dei colori.

«Se volete godervi un bello spettacolo, vogliate assistere alla sortita dalla gran messa d'Aritzo. Vedrete le donne in costume color porpora, orientale e medievale in una volta, di una ricchezza sorprendente, avanzare tutte scintillanti di broccato. Esse discendono la scalinata, con in mano i rosari di madreperla e d'argento e reliquiari cesellati ... C'è da credere che la corte di qualche principe delle Mille e una notte abiti questo villaggio "favoloso"».

Così Gaston Vuillier ha descritto con viva emozione la sua "scoperta" dei costumi sardi, al pari dei numerosi viaggiatori che dall'inizio dell'Ottocento hanno visitato l'Isola.

Gli elementi tipici del costume maschile sono il berretto, la camicia, il gilet, la giacca, le "ragas", i pantaloni di lino bianco, può esserci il mantello, il caratteristico "gabbanu" proprio della tradizione pastorale e la mastruca, grosso

cappotto di pelle di pecora con la lana, che, dipendendo dalla stagione, si indossa con lana all'interno o all'esterno; a questa si può aggiungere il "collettu": un mantello di cuoio che arriva alle ginocchia, aperta sul davanti e tenuta da una cintura di cuoio.

Il vestito tradizionale femminile è più sontuoso, più ricco, colorato e vario. E' costituito da: la cuffia che può essere uno scialle, un velo o una cappa. La camicia è sempre bianca ed il corsetto è di diversi tagli. La veste può essere con maniche aperte; il corpetto di diverse stoffe e colori, è pieghettato e cucito finemente.

Il colore dominante dipende dalla località di provenienza e costituisce pertanto un elemento di identità e di autenticità.

Un tempo i tessuti venivano colorati tra le mura domestiche utilizzando erbe naturali e tecniche che ognuno teneva gelosamente segrete e che erano poi tramandate di generazione in generazione.

Oggi è possibile ammirare questi abiti colorati esclusivamente in concomitanza delle feste popolari e delle principali cerimonie e ricorrenze religiose.



4. I murales: il colore della denuncia

Un recente uso del colore a livello urbano per scopi prettamente comunicativi è quello relativo ai murales, che potremo definire “il colore della denuncia”.

Il fenomeno artistico del *muralismo* nasce in Sardegna a partire dagli anni Cinquanta del Novecento come strumento di comunicazione e denuncia dei disagi e delle sofferenze del popolo isolano nei confronti di un potere centrale accusato di essere lontano ed indifferente alle esigenze locali. Diffuso in molti centri dell'isola, raggiunge dimensioni imponenti soprattutto in alcune località come Orgosolo, San Sperate e Villamar, dove centinaia di articolati dipinti murali ricoprono interamente le facciate delle abitazioni, come in una sorta di grande “giornale murale” nel quale vengono raccontate le storie della vita quotidiana, delle sofferenze, dell'oppressione e della lotta del popolo sardo. I temi trattati si ricollegano alla cronaca politica come alla memoria storica: dal sardismo alla

repressione, dalla questione sociale alla lotta internazionalista, dove denunce di soprusi passati e recenti convivono con polemiche di carattere anche personale e familiare. Le raffigurazioni, complessivamente dotate di un forte *impatto emotivo*, sono costituite da immagini di notevoli dimensioni che si ispirano ad un'iconografia che assume sovente toni violenti, e sono accompagnate da testi che alternano la lingua sarda a quella italiana.

Un fenomeno espressivo di tale portata e diffusione, è stato analizzato in maniera circostanziata dalla letteratura locale nei soli casi più eclatanti ed esclusivamente in relazione agli aspetti figurativi e simbolici e alle ripercussioni sociali.

Lo studio della scelta cromatica in tali figurazioni mette in risalto delle soluzioni non casuali, correlate a simbologie emotive e a condizioni sociali specifiche che hanno trovato nel contrasto cromatico l'immediata espressione del contrasto sociale e del disagio umano.

La ricorrenza dell'associazione colore-forma-significato fa sì che il *muralismo* sardo trovi riscontro, pur nelle sue peculiarità autoctone, con analoghe realizzazioni italiane o internazionali, come quelle dell'America Latina. Rispetto a tali espressioni è possibile individuare *costanti* e *varianti* locali riscontrate nelle differenti tecniche e modalità di esecuzione. Lo slancio della realizzazione estemporanea si alterna alla riscoperta di bozzetti o studi preparatori che varia in funzione dell'artista, del luogo, dell'oggetto o della rilevanza del tema da rappresentare.



A quasi cinquant'anni dalle prime realizzazioni, ci si pone ora il quesito sulla attualità di un tale patrimonio della cultura figurativa popolare e sulle notevoli

possibilità comunicative che tale *strumento mediatico* conserva anche nella società contemporanea. Così, se da un lato si tende a conservare e restaurare brani di dipinti murali che appartengono al nostro recente passato in qualità di testimonianza della contingente istanza storica e sociale, contemporaneamente si acquisisce la consapevolezza che i *murales* cambiano continuamente nel tempo: i più vecchi si rovinano e muoiono, mentre altri nuovi nascono accanto a loro o anche al loro posto, quasi come un giornale sempre aggiornato.

Alla luce di tali considerazioni è necessario considerare con attenzione l'ipotesi di un intervento per il recupero dei *murales* nel loro complesso come tradizione *figurativa, tecnica* e comunicativa. Il recupero della simbologia legata al colore è il primo passo verso la conservazione non solo della materialità, ma dell'autenticità espressiva che è l'identità stessa della produzione artistica. Allo stesso tempo, dalla rilettura del significato di tali espressioni artistiche, scaturisce l'istanza di valorizzazione, non solo di quanto già realizzato, ma della tradizione stessa di un popolo di esprimere la propria identità mediante *murales*.

5. Gli allestimenti: il colore della didattica

Il colore, o la sua assenza, gioca un ruolo da protagonista nella valorizzazione ed esposizione del patrimonio culturale. La fruizione della cultura deve costituire un momento educativo, attraente e perché questo avvenga, è stato da più parti riconosciuta la necessità che tale fruizione sia anche per certi versi ricreativa.

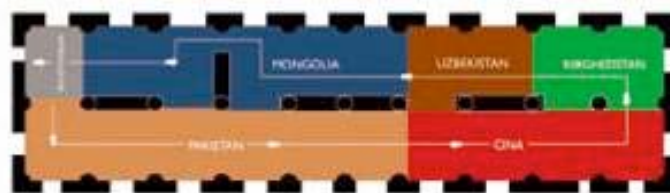
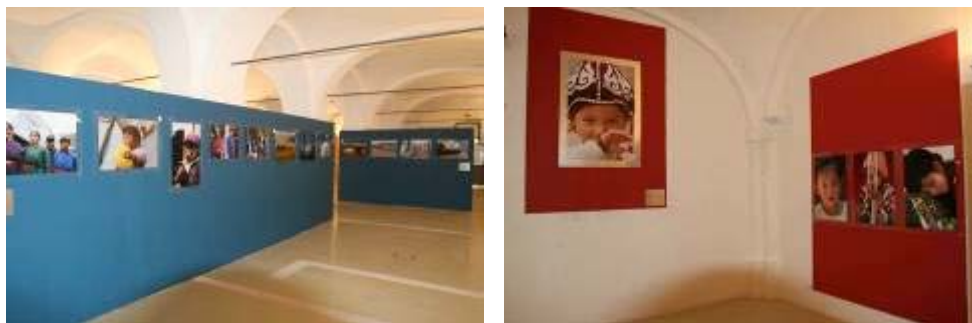
L'uso delle differenti cromie negli allestimenti museali o comunque espositivi consente di *attribuire caratterizzazione agli spazi*, fisicizzando ambienti tematici delineati, e di materializzare percorsi logici, evocare aspetti simbolici e quindi richiamare significati.

L'uso del colore-guida è stato ampiamente sperimentato nell'allestimento della mostra fotografica "*Oltre lo sguardo*", realizzata nella sede del Centro Comunale d'Arte e Cultura "Il Lazzaretto" di Cagliari.

Il tema è il racconto di un viaggio nella cultura e nelle emozioni di popoli lontani attraverso le immagini catturate dall'obbiettivo curioso ed attento di Roberto Salgo. Si tratta di scorci colorati di *piccoli mondi* dell'Asia centrale, in un itinerario che si snoda tra Mongolia, Uzbekistan, Kirghizstan, Cina e Pakistan a ciascuno dei quali è stata dedicata una sezione della mostra. Affinità e peculiarità di ciascun popolo si svelano nei diversi tematismi che caratterizzano alcune sottosezioni naturalmente emerse dal ricco patrimonio figurativo proposto. Le dominanti cromatiche del paesaggio illustrato hanno consentito di individuare proprio nel colore l'elemento che ha contraddistinto ciascun popolo e che ha dato luogo al tema colorato dell'allestimento stesso. Così i tratti somatici, i colori delle vesti, la luce degli occhi dei ritratti ha suggerito cinque tonalità – tema del percorso del visitatore, capaci di fissare questi *flash di luce* sugli aspetti della realtà sociale.



La scelta di base è stata dunque quella di trovare il “colore dei significati” che ciascun gruppo di immagini evocava e farne diventare una linea guida per la stretta associazione del colore al suo contesto. I supporti in metacrilato colato a filo lucido e dialuminio si sono posti come elementi neutri, puro strumento per far galleggiare l’immagine fotografica nel suo tema colorato.



6. Conclusioni

L’analisi dei temi proposti in questa sede non ha la pretesa di essere esaustiva, ma di delineare un percorso di ricerca alternativo sul ruolo del colore nella cultura di un popolo attraverso indagini diacroniche e multidisciplinari. Il significato del

colore nella tradizione sarda, al pari di molte altre realtà, appare dunque radicato nelle espressioni tradizionali. Un tale campo di indagine può dirsi ancora da esplorare in molti aspetti tra i quali la linguistica e in particolare la toponomastica. Molti luoghi conservano ancora nell'idioma locale, attributi legati ai colori (es. *nuraghe arrubiu* – nuraghe rosso,...) e questo conferma il delicato ruolo del colore nella cultura locale in generale delle comunità.

Ritrovare il “colore dei significati”, garantirebbe una maggiore consapevolezza nella attuazione degli interventi di valorizzazione del patrimonio culturale materiale e immateriale. Una osservazione particolare va poi riservata alla impossibilità di realizzare e quindi di conseguenza adottare una pianificazione del colore in ambito urbano e paesaggistico in quanto l'omologazione di standard costituirebbe un pericolo per la salvaguardia delle tipicità locali. Allo stesso tempo è necessario che si sviluppi una adeguata cultura del colore al fine di attuare scelte consapevoli e fondate su criteri scientifici condivisi.

Bibliografia

1. P. Rubanu, G. Fistrale, “Murales politici della Sardegna: guida, storia, percorsi”, ed. Dattena, Cagliari, 1998.
2. G. Aste, R. Cambiaggio, “ Carloforte : la città e la storia, Edizioni della Torre, Cagliari 1992.
3. T.K. Kirova, D.R.Fiorino, “Le architetture religiose del barocco in Sardegna. Modelli colti e creatività popolare dal XVI al XVIII secolo, ed. Aipsa, Cagliari 2003.
4. AA.VV., “Costumi: storia, linguaggio e prospettive del vestire in Sardegna”, Ilisso, Nuoro 2003.

Formula Euclidea per la differenza di colore nello spazio OSA-UCS con croma compressa

C. OLEARI

DIPARTIMENTO DI FISICA, ISTITUTO NAZIONALE FISICA DELLA MATERIA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA (ITALY)
claudio.oleari@unipr.it

R. HUERTAS, M. MELGOSA

DEPARTAMENTO DE ÓPTICA, FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE GRANADA (SPAIN)
rhuertas@ugr.es , mmelgosa@ugr.es

Riassunto - La grande complessità della formula CIEDE2000 [1,2] ha mostrato l'inadeguatezza del sistema CIELAB a rappresentare una formula per le piccole - medie differenze di colore. Ciò ci ha indotto ad analizzare il sistema OSA-UCS [3,4,5], nel quale le differenze sperimentali di colore piccole e medie sono rappresentate da equazioni di ellissoidi molto regolari [6,7]. In particolare considerando l'intero insieme di ellissi BFD [8] definite a fattore di luminanza costante, è emerso che i semiassi maggiori giacciono su linee rette che si dipartono dal punto acromatico ed entrambe le lunghezze dei semiassi sono indipendenti dalla tinta e dipendenti linearmente dalla croma. Questa regolarità ci induce ad attuare una compressione logaritmica sulla croma definendo così un nuovo spazio in cui le ellissi BFD risultano molto prossime a cerchi di ugual raggio e la formula per la differenza di colore a chiarezza costante è rappresentata dall'equazione di un cerchio. La bontà di questa formula, valutata col "performance factor" PF/3 [9] su tutto l'insieme di ellissi BFD è molto vicino, quasi uguale a quello ottenuto con la formula ellissoidale nello spazio OSA-UCS. Ciò afferma che le due formule hanno sostanzialmente uguale bontà e che le differenze di colore medio - piccole sono ben rappresentate dall'equazione di un cerchio nello spazio OSA-UCS con la croma compressa logaritmicamente.

1. Introduzione

La definizione della miglior formula per le differenze di colore medio - piccole è un tema tra i più dibattuti nella scienza del colore e ancora oggi è un problema aperto [1]. La formula CIEDE2000 [2] presenta altissima complessità e questa dimostra la inadeguatezza del sistema CIELAB a rappresentare la formula per le differenze di colore medio - piccole. La presente analisi è condotta nello spazio OSA-UCS [3, 4], scandito dalla chiarezza L_{OSA} e dalle coordinate (J, G) , le quali corrispondono alle coordinate empiriche j e g [5]. Le differenze di colore medio - piccole sperimentali

rappresentate in questo spazio (Fig. 1) sono descritte da equazioni di ellissoidi molto regolari [6, 7]

$$(\Delta E_{GP})^2 = 10^2 \left[\left(\frac{\Delta L_{OSA}}{S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C_{OSA}}{S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H_{OSA}}{S_H} \right)^2 \right] \quad (1)$$

dove C_{OSA} è la croma

$$C_{OSA} = \sqrt{G^2 + J^2}, \quad (2)$$

ΔH_{OSA} , per piccole differenze di colore, è definito come

$$(\Delta H_{OSA})^2 = (\Delta E_0)^2 - (\Delta L_{OSA})^2 - (\Delta C_{OSA})^2 \quad (3)$$

con

$$(\Delta E_0)^2 = (\Delta L_{OSA})^2 + (\Delta J)^2 + (\Delta G)^2, \quad (4)$$

in analogia col sistema CIELAB, e

$$\begin{aligned} S_L &= 1 \\ S_C &= a_C + b_C C_{OSA} \\ S_H &= a_H + b_H C_{OSA} \end{aligned} \quad (5)$$

sono i pesi, in cui C_{OSA} è la croma del campione di colore considerato come standard e a_C, b_C, a_H e b_H sono opportune costanti.

Dall'intero insieme di ellissi BFD [8], rappresentate su un piano a chiarezza costante (Fig. 1), emerge che

- 1) le ellissi hanno gli assi maggiori che giacciono su linee rette uscenti dal punto acromatico,
- 2) la forma delle ellissi non dipende dalla tinta,
- 3) entrambi gli assi hanno lunghezze che non dipendono dalla tinta e sono linearmente dipendenti dalla croma, come espresso dalle equazioni (5);
- 4) conseguenza di queste osservazioni è che l'ellisse nell'origine delle coordinate (J, G) è un cerchio di raggio R approssimativamente uguale a 1.

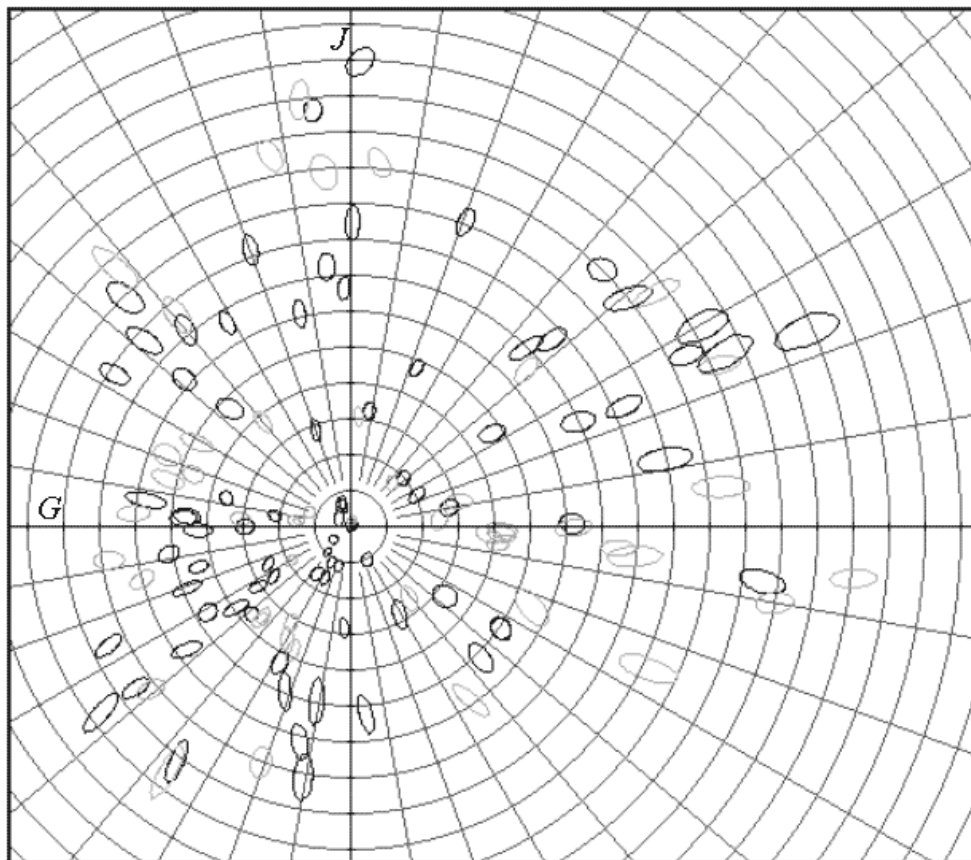


Figura 1. Piano (J , G) dello spazio OSA-UCS con le ellissi BFD [8]: BFD-P (linea nera) e BFD-A (linea grigia).

Tale regolarità ci induce ad attuare una compressione logaritmica sulla croma C_{OSA} producendo una nuova croma e quindi un nuovo spazio, in cui la formula per le differenze di colore medio - piccole è ben rappresentata dall'equazione di una sfera. Nel paragrafo 2 si propone la costruzione del nuovo spazio con la croma compressa logaritmicamente e la corrispondente formula per la differenza di colore. Nel paragrafo 3 si attua e si discute l'ottimizzazione dei parametri della compressione della croma.

2. Spazio OSA-UCS con la croma log - compressa

Il contributo della differenza di croma nella formula (1) è

$$\frac{\Delta C_{OSA}}{a_C + b_C C_{OSA}}, \quad (6)$$

da cui segue la nuova croma compressa C_E (il pedice E significa Euclidea)

$$C_E \equiv \left(\frac{1}{b_C} \right) \ln \left[1 + \frac{b_C}{a_C} C_{OSA} \right], \quad (7)$$

la quale è definita in modo che

$$\Delta C_E = \frac{\Delta C_{OSA}}{a_C + b_C C_{OSA}}. \quad (8)$$

Poiché si suppone che la compressione logaritmica della croma lasci immutata la tinta, segue che le nuove coordinate ortogonali logaritmicamente compresse sono

$$\begin{aligned} G_E &= C_E \cos(h) \\ J_E &= C_E \sin(h) \end{aligned}, \quad (9)$$

dove h è l'angolo di tinta

$$h = \arctan(-J/G). \quad (10)$$

Questa trasformazione mette in corrispondenza le ellissi appartenenti a un piano a fattore di luminanza fissato dello spazio OSA-UCS, col semiasse maggiore posto su una linea retta uscente dall'origine delle coordinate (J, G) e uguale a $(a_C + b_C C_{OSA})$, a linee circolari prossime a cerchi di raggio R nel corrispondente spazio con la croma compressa logaritmicamente. Questa trasformazione non dipende dalla tinta e dipende solo dalla lunghezza del semiasse maggiore $(a_C + b_C C_{OSA})$. Segue che il semiasse minore, che risulta empiricamente $\Delta H_{OSA} \approx (a_H + b_H C_{OSA})$, deve dipendere dal semiasse maggiore. Quest'ultima proprietà è verificata empiricamente. Si consideri un cerchio nello spazio croma compresso con centro a una distanza C_E dall'origine e con raggio $R = \Delta C_E$. Invertendo le equazioni (9), (10) e (7), questo cerchio viene trasformato in una linea di tipo ellittico, centrata in C_{OSA} , con uguale angolo di tinta e col semiasse minore ΔH_{OSA} .

$$\Delta H_{OSA} = \Delta C_E \frac{C_{OSA}}{C_E} = R \frac{b_C C_{OSA}}{\ln\left(1 + \frac{b_C}{a_C} C_{OSA}\right)} . \quad (11)$$

Questa trasformazione è differente dall'equazione lineare $\Delta H_{OSA} \approx (a_H + b_H C_{OSA})$, ma entrambe sono compatibili con i dati sperimentali, come appare in Fig. 2, e le costanti a_H , b_H e R non hanno nessun ruolo nella trasformazione. Questo risultato è molto importante poiché prova empiricamente la correttezza della compressione logaritmica della croma.

La formula per le differenze di colore nello spazio OSA-UCS compresso logaritmicamente risulta Euclidea

$$\Delta E_E = \sqrt{(\Delta L_{OSA})^2 + (\Delta G_E)^2 + (\Delta J_E)^2} . \quad (12)$$

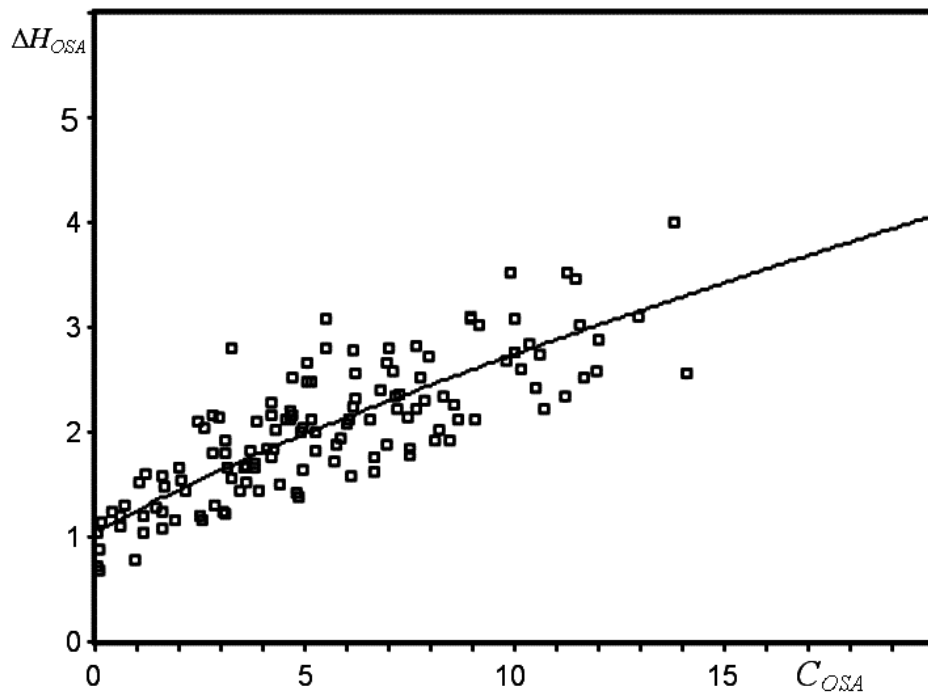


Figura 2. Semiassi empirici (\square) dell'intero insieme di ellissi BFD [8] in funzione della croma C_{OSA} del centro dell'ellissi e la linea di equazione (11). I valori dei relativi parametri a_C , b_C e R sono dati nella tavola 3.

3. Ellissi BFD nello spazio OSA-UCS con croma log-compressa

I parametri a_H , b_H e R non sono richiesti per la compressione logaritmica della croma, ma sono comunque valutabili mediante interpolazione lineare delle lunghezze dei semiasse minori valutati empiricamente (Tavola 1), o mediante l'ottimizzazione dell'indice $PF/3$ e del valore RMS [7] considerando l'equazione (1) nello spazio OSA-UCS. L'ottimizzazione del solo indice $PF/3$ non è sufficiente per valutare i parametri, perchè tale indice non cambia modificando i parametri della trasformazione di un fattore scala, pertanto l'ottimizzazione si raggiunge combinando l'ottimizzazione di questo indice con quella della nota "Root Mean Square" (RMS). Solo i parametri a_C e b_C sono necessari per attuare la compressione logaritmica della croma e sono ottenibili

- i. mediante interpolazione lineare delle valutazioni sperimentali dei semi assi maggiori delle ellissi (Tavola 1) [7];
- ii. mediante ottimizzazione dell'indice $PF/3$ e del valore RMS sui dati empirici rappresentati nello spazio OSA-UCS (Tavole 2 e 3) [7];
- iii. mediante ottimizzazione dell'indice $PF/3$ e del valore RMS sui dati empirici rappresentati nello spazio OSA-UCS con la croma log-compressa, usando le trasformazioni (7), (9) e (10) (Tavola 4).

I dati empirici usati in questo lavoro per valutare i parametri di trasformazione e la bontà della formula per la differenza di colore sono costituiti dai tre insiemi di ellissi BFD: l'insieme BFD-P che riguarda la percettibilità, l'insieme BFD-A che riguarda l'accettabilità, e l'intero insieme BFD, ottenuto dal porre insieme gli insiemi BFD-P e BFD-A.

Le ellissi dei tre insiemi di dati, precedentemente considerati nello spazio OSA-UCS [6, 7], sono rappresentate nello spazio OSA-UCS con la croma log-compressa, dove risultano molto prossime a cerchi di uguale raggio (Fig. 3).

La bontà della formula (12) è valutata sui parametri ottenuti con le diverse tecniche i), ii) e iii), mediante l'indice $PF/3$ sui tre insiemi di dati BFD e risulta molto vicina, quasi uguale a quella ottenuta dalla formula ΔE_{GP} nello spazio OSA-UCS (Tavole 1, 2, 3 e 4). Ciò significa che la qualità delle due formule è la stessa e che le differenze di colore medio - piccole a fattore di luminanza costante sono ben rappresentate dall'equazione di un cerchio nello spazio OSA-UCS con la croma log-compressa.

4. Conclusioni

La formula Euclidea per la differenza di colore ΔE_E (12) definita nello spazio OSA-UCS con croma log-compressa, valutata sui tre insiemi di ellissi BFD (Tavola 4) e confrontata con la precedente ΔE_{GP} (1) (Tavole 2 e 3), mostra che l'indice $PF/3$ è uguale o maggiore di solo una sola unità su scala percentuale.

La semplicità della formula Euclidea nello spazio OSA-UCS log-compresso unita alla bontà del risultato espresso dall'indice $PF/3$ ci induce a ritenere che ogni tentativo di

ottenere un migliore accordo tra formula per la differenza di colore e dati sperimentali è un lavoro di “over-fitting” quasi senza valore.
Confronti tra la formula ΔE_E (12) e l'intero insieme di dati COM [2], usando le formule CIEDE2000 [2] e DIN 99d [10] sono in corso.

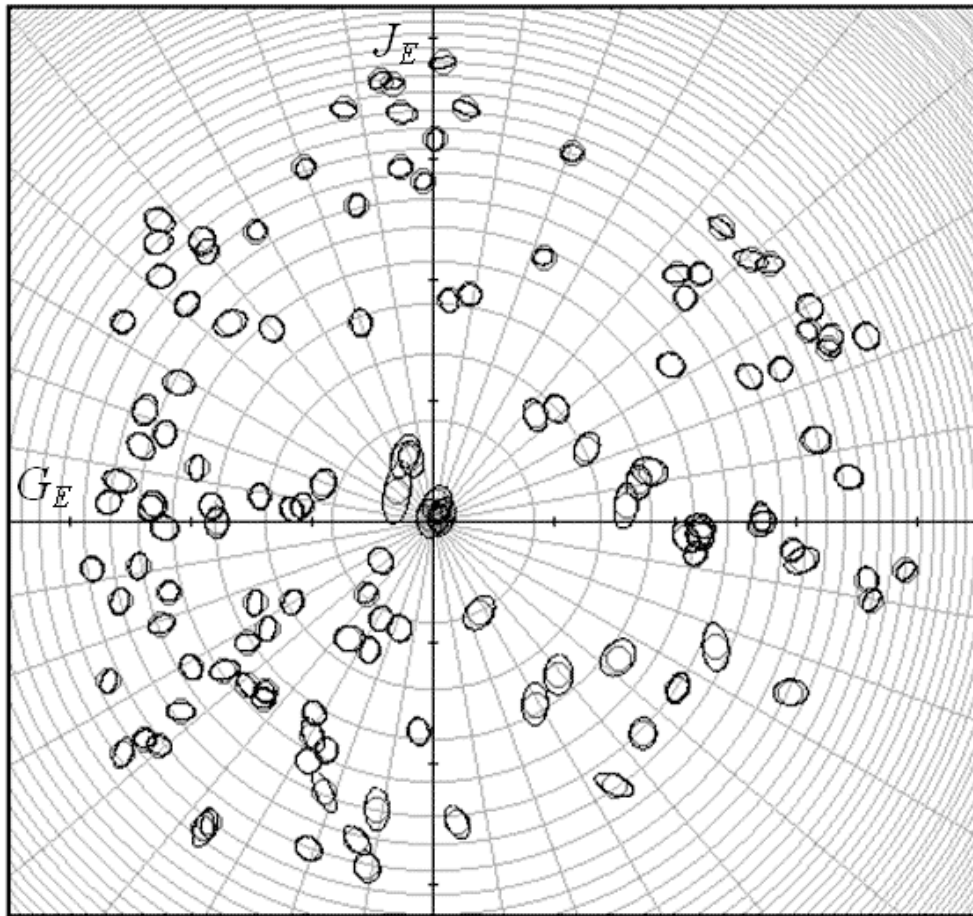


Figura 3. Piano (J_E, G_E) nello spazio con la cromia log-compressa, ottenuto dallo spazio OSA-UCS, con le ellissi BFD (line nera), i corrispondenti cerchi di ugual raggio (linee grigio scuro), e il reticolo di coordinate cilindriche dello spazio OSA-UCS a chiarezza costante.

Tavola 1: Parametri valutati mediante interpolazione lineare dei dati relativi ai tre insiemi di ellissi BFD [8], e indice $PF/3$ in relazione alle formule per la differenza di colore (1) e (12) [7].

	BFD	BFD-P	BFD-A
a_C	1.7513	1.6832	1.4758
b_C	0.0431	0.0428	0.0466
R	0.7483	0.7637	0.8205
$PF/3$ per ΔE_{GP}	24.5	24.6	22.7
$PF/3$ per ΔE_E	27.1	27.0	24.1

Tavola 2: Parametri valutati mediante l'ottimizzazione dell'indice $PF/3$ e del valore RMS sulla formula per la differenza di colore (1) relativi ai tre insiemi di ellissi BFD [8], e indice $PF/3$ in relazione alle formule per la differenza di colore (1) e (12) [7].

	BFD	BFD-P	BFD-A
a_C	1.1205	1.1533	0.9366
b_C	0.0513	0.0467	0.0630
R	0.9173	0.9354	0.9153
$PF/3$ per ΔE_{GP}	21.4	22.7	21.7
$PF/3$ per ΔE_E	23.1	23.8	21.7

Tavola 3: Parametri valutati mediante l'ottimizzazione dell'indice $PF/3$ e del valore RMS sulla formula per la differenza di colore (1) relativi agli insiemi di dati COM [2], e indice $PF/3$ in relazione alle formule per la differenza di colore (1) e (12) [7].

	BFD	BFD-P	BFD-A
a_C	1.2350	1.2350	1.2350
b_C	0.0580	0.0580	0.0580
R	0.8228	0.8191	0.8282
$PF/3$ per ΔE_{GP}	22.5	22.7	21.9
$PF/3$ per ΔE_E	23.4	24.0	22.1

Tavola 4: Parametri valutati mediante l'ottimizzazione del prodotto dell'indice $PF/3$ per il valore RMS sulla formula per la differenza di colore (12) relativi ai tre insiemi di ellissi BFD [8], e indice $PF/3$ in relazione alla formula per la differenza di colore (12).

	BFD	BFD-P	BFD-A
a_C	0.9427	0.9151	0.9904
b_C	0.0576	0.0542	0.0624
R	0.9511	0.9917	0.8955
$PF/3$ per ΔE_E	23.1	23.7	21.6

Riconoscimenti

“Acción Integrada HI2002-0076, Ministerio de Ciencia y Tecnología, España”;
“Cofinanziamento MIUR 2005”.

Bibliografia

1. CIE Publication 142. “*Improvements to industrial colour difference evaluation*”. CIE Central Bureau, Vienna, 2001.
2. M. R. Luo, G. Cui, B. Rigg, “The development of CIE 2000 colour-difference formula: CIEDE2000.” *Color Res Appl*, **26**, 340-350 (2001).
3. D. L. MacAdam, “Uniform color scales,” *J. Opt. Soc. Am.*, **64**, 1691-1702 (1974).
4. D. L. MacAdam, “Colorimetric data for samples of OSA uniform color scales,” *J. Opt. Soc. Am.*, **68**, 121-130 (1978).
5. C. Oleari, “Color opponencies in the system of the uniform color scales of the Optical Society of America,” *J. Opt. Soc. Am. A*, **21**, 677-682 (2004).
6. R. Huertas, M. Melgosa and C. Oleari, “A new colour-difference formula defined in the OSA-UCS space,” *AIC Colour 05 – 10th Congress of the International Colour Association*, 1071-1074 (2005)
7. R. Huertas, M. Melgosa and C. Oleari, “Performance of a new color-difference formula based on OSA-UCS space using small-medium color differences,” *J. Opt. Soc. Am. A*, **23**, *in press* (2006).
8. M. R. Luo, B. Rigg, “Chromaticity-discrimination ellipses for surface colours.” *Color Res. Appl.*, **11**, 25-42 (1986)
9. S. S. Guan and M. R. Luo, “Investigation of parametric effects using small colour-differences,” *Color Res. Appl.*, **24**, 331-343 (1999).
10. G. Cui, M. R. Luo, B. Rigg, G. Rösler, K. Witt, “Uniform colour spaces based on the DIN99 colour difference formula,” *Color Res. Appl.*, **27**, 282-290 (2002).

Un software didattico su fenomeni della visione a colori e per il calcolo e l'analisi colorimetrica

CLAUDIO OLEARI

DIPARTIMENTO DI FISICA, ISTITUTO NAZIONALE FISICA DELLA MATERIA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA
claudio.oleari@unipr.it

**GABRIELE SIMONE
ALESSANDRO RIZZI**

DIPARTIMENTO DI TECNOLOGIE DELL'INFORMAZIONE,
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
gabriele_simone@virgilio.it , rizzi@dti.unimi.it

1. Introduzione

In questo articolo viene presentato un software didattico e applicativo intitolato "Colore, Visione, Colorimetria" e realizzato con lo scopo:

- di supportare docenti e studenti nella comprensione di fenomeni della visione a colori e dei concetti di base della colorimetria;
- di fornire al tecnico di laboratorio gli algoritmi standard per il calcolo colorimetrico e le applicazioni fondamentali della colorimetria.

Il programma, distribuibile gratuitamente, è presente all'interno del CD degli atti di questo convegno e sarà successivamente distribuito in internet attraverso il sito della SIOF.

Il software è diviso in 20 moduli, che propongono alcuni fenomeni visivi dell'apparenza, i più conosciuti atlanti dei colori, la teoria del tristimolo, i calcoli colorimetrici secondo gli standard della *Commission Internationale de l'Éclairage* (CIE), e infine l'applicazione della colorimetria nella stampa mediante retinatura e coloranti, e nelle vernici basate su miscele di pigmenti.

Il programma, fornito tramite programma d'installazione, è scritto in Visual Basic, usa la piattaforma Microsoft .NET ed è sviluppato per Windows XP. Non sono necessari particolari caratteristiche hardware ma è necessario disporre di una risoluzione video di almeno 1024x768 pixel. Le funzioni colorimetriche e i dati numerici sono organizzati

in una libreria dll, la quale è collegata a un database costituito prevalentemente da tabelle di dati disponibili in letteratura e in minima parte da misurazioni dirette.

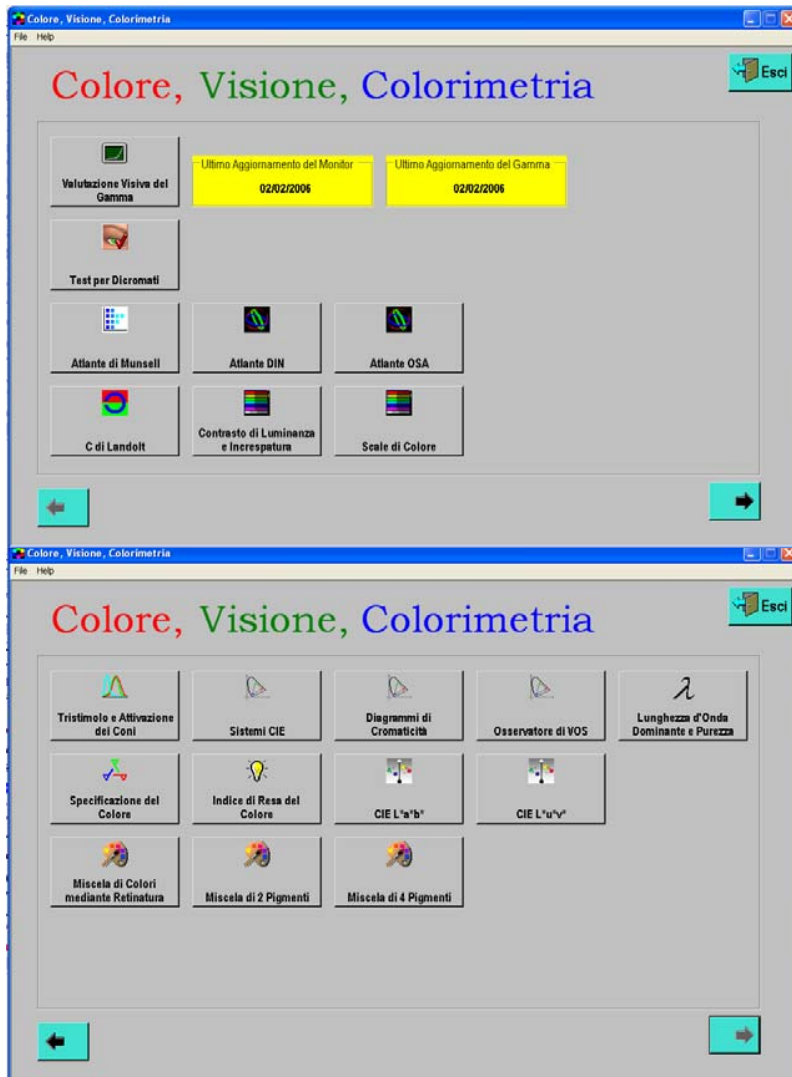


Figura 1. Menù a pulsanti su due pagine. I due riquadri gialli ricordano le date degli ultimi aggiornamenti dei dati colorimetrici del monitor e del gamma.

2. Descrizione del programma

Il programma consta di 20 moduli selezionabili da un menù a pulsanti posti su due pagine (Fig.1). Nell'ordine qui sono presentati i vari moduli.

- **Valutazione visiva del gamma e taratura del monitor CRT**

Per governare correttamente il colore proposto da un monitor a tubo a raggi catodici (CRT) occorre conoscere la funzione esistente tra la luminanza emessa e il segnale che pilota il cannoncino elettronico del CRT. Tale funzione viene costruita *confrontando a vista* sul monitor due quadrati contigui di uguale colore primario, Rosso, Verde e Blu, dei quali uno emette luce in tutta la sua superficie e l'altro a righe alterne, cioè in metà superficie. Fissata la luminanza e il segnale del quadrato a righe alterne, si varia il segnale del quadrato pieno fino a che a vista i due quadrati appaiono nella media ugualmente luminosi (occorre osservare i quadrati da una distanza tale da non distinguere le righe del quadro rigato). A uguale luminanza media corrisponde alle righe luminose del quadrato rigato una luminanza doppia, essendo la luminanza la densità superficiale dell'intensità luminosa. Nasce così una corrispondenza tra segnali (numeri a 8 bit nel programma oppure potenziali [Volt] sul monitor) e luminanze.

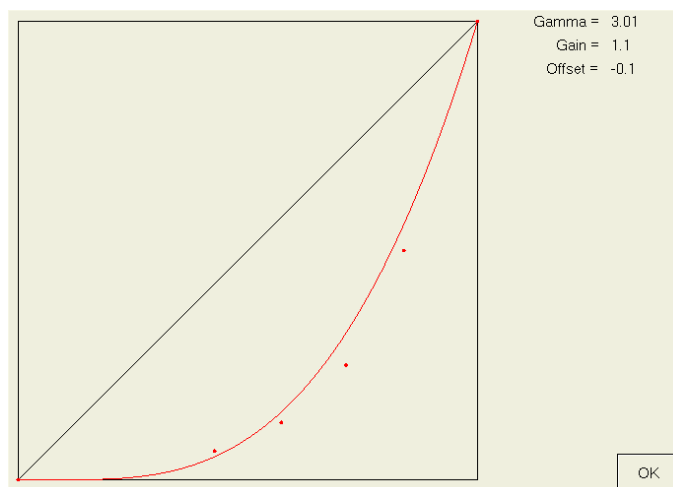


Figura 2. Relazione tra luminanza emessa dal monitor e segnale del colore primario considerato.

Mediante un programma di interpolazione si determinano i parametri della funzione incognita. Tali parametri insieme alle cromaticità dei colori primari RGB e del bianco

del monitor sono registrati su un file. Ogni qualvolta si lancia il programma questo file viene letto e di conseguenza i segnali di colore sono modificati al fine di ottenere correttamente le luminanze e i colori voluti. Queste operazioni sono proposte anche per il bianco del monitor a scopo di verifica.

Sono memorizzabili i dati fino a quattro diversi monitor per gli osservatori CIE 1931, CIE 1964 e di Vos, oltre allo standard sRGB proprio del sistema operativo.

- **Test per dicromati**

Il test serve a evidenziare anomalie del sistema visivo dell'operatore, che alla fine del test può risultare:

- *tricromato normale*
- *tricromato anomalo: protanomalo, deuteranomalo o tritanomalo*
- *dicromato: protanope, deuteranope o tritanope.*

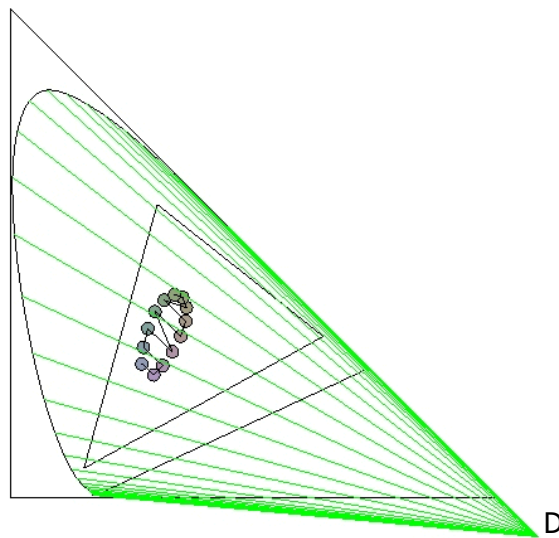


Figura 3. Esempio di ordinamento dei colori tipico di un osservatore deuteranope.

Il test considera 10 campioni di colore equiluminosi per l'osservatore standard CIE 1931, si svolge in due momenti e richiede:

- l'uguagliamento delle luminosità percepite dall'operatore dei 10 campioni, variandone la luminosità fino a che appare minima la discriminazione dovuta al bordo di separazione tra campione e contorno (minimum distinct border);
- l'ordinamento cromatico dei 10 campioni, una volta uguali in luminosità, a partire da un campione dato e scegliendo tra i restanti il campione cromaticamente più vicino fino a esaurimento dei campioni.

La diagnosi emerge dal confronto del comportamento coll'osservatore standard.

- **Atlante di Munsell**

Questo modulo propone l'intero sistema dei colori di Munsell rinotato da Newhall, Nickerson e Judd (Final report of the OSA subcommittee on spacing of the Munsell colors, *J. Opt. Soc. Am.*, **33**, 385 (1943)) sotto l'illuminante C e l'osservatore colorimetrico standard CIE 1931. I colori sono proposti nel sistema di coordinate del sistema di Munsell, cioè in tavole a tinta definita con in ascissa la croma C e in ordinata il valore V . I campioni proposti con un rettangolo vuoto non sono riproducibili col monitor in uso. L'operatore sceglie la pagina dell'atlante. Questo sistema è stato realizzato con l'intento di produrre scale percettive uniformi di campioni fisici.

Oggi il libro dei colori di Munsell è realizzato per l'illuminante D_{65} e risulta con scale uniformi per l'osservatore supplementare CIE 1964.

Dal confronto col sistema DIN si coglie visivamente la profonda differenza tra croma e saturazione.

- **Atlante DIN**

Questo modulo propone l'intero sistema dei colori DIN sotto l'illuminante C. I colori sono proposti nel sistema di coordinate del sistema DIN, cioè in tavole a tinta definita T (*Farbton*) con in ascissa la saturazione S (*Sättigung*) e in ordinata la scurezza relativa D (*Dunkelstufe*). I campioni proposti con un rettangolo vuoto non sono riproducibili col monitor in uso.

La saturazione S è definita sul diagramma di cromaticità a fissata D secondo scale uniformi. Poiché la capacità di costruire una scala cromatica cresce linearmente col diminuire della scurezza relativa D , la differenza di colore tra colori contigui a fissate T e S varia linearmente con la D . Dal confronto col sistema Munsell si coglie la differenza tra croma e saturazione. L'osservatore considerato è il CIE 1931.

- **Atlante OSA**

Il modulo rappresenta sezioni piane diverse dello spazio OSA-UCS. I campioni sono proposti sotto l'illuminante D_{65} . L'osservatore considerato è il CIE 1964.

I quadrati vuoti corrispondono a colori non realizzabili col monitor in uso.

Nel caso di piani diversi da quelli a chiarezza costante, i campioni si sovrappongono parzialmente evidenziando contrasto simultaneo, sia cromatico sia di luminanza.

- **C di Landolt**

Il modulo propone una corona circolare aperta a forma di C il cui campo prossimale è costituito da due campi contigui di diverso colore con la linea di separazione contenuta nell'apertura della C in modo che i due estremi della C appartengono a campi diversi. L'operatore può variare i tre colori proposti nella scena e può variare con continuità i contenuti di rosso, verde e blu che concorrono additivamente nel colore della C. Il colore della C si presenta diverso nella parte superiore rispetto a quella inferiore passando con continuità dall'uno all'altro. La differenza può essere duplice, sia di brillantezza e sia cromatico. È quest'ultimo il caso del **contrasto cromatico simultaneo**, che può presentarsi insieme al contrasto simultaneo di luminanza.

- **Contrasto di luminanza e increspatura**

Questo modulo propone due insiemi di rettangoli in uguali scale di luminanze, dal nero al bianco del monitor. La differenza tra i due insiemi di rettangoli è data dal campo prossimale, che nei rettangoli di sinistra è posto inizialmente nero, mentre i rettangoli di destra sono tra loro giustapposti secondo la scala di luminanze. Ciò comporta che

- i rettangoli di sinistra risultano uniformi al loro interno,
- i rettangoli di destra mostrano una brillantezza degradante dal basso verso l'alto.

L'operatore può isolare un rettangolo della scala di destra mascherando i rettangoli contigui con due cartoncini e può così verificare l'uniforme brillantezza del rettangolo considerato a conferma dell'uniforme luminanza. Emerge anche che i rettangoli di destra sono in luminanza uguali a quelli di sinistra.

L'operatore può aumentare la luminanza del campo prossimale relativo ai rettangoli di sinistra e, al variare della luminanza, si verifica il fenomeno dell'increspatura {crispning}, secondo il quale i rettangoli più brillanti del campo prossimale appaiono ancor più brillanti e quelli meno brillanti ancor meno brillanti. L'effetto è particolarmente evidente mentre si modifica la luminanza del campo prossimale dando la sensazione che una velina scorra sopra ai rettangoli modificandone la brillantezza.

L'operatore può intervenire dando tinta ai vari rettangoli e verificare che il fenomeno si ripete indipendente dalla tinta.

- **Scale di colore**

Il modulo propone una matrice di campioni di colore in cui la tinta cambia con le righe e all'interno di ogni riga la brillantezza cresce da destra a sinistra. I vari campioni possono essere proposti in tre modi differenti e con apparenza differente:

	modo di visione	apparenza
1	I campioni sono separati da una linea nera sia secondo le righe e sia secondo le colonne.	I vari campioni appaiono al loro interno uniformi.
2	I campioni sono giustapposti.	I vari campioni appaiono al loro interno non uniformi e come <i>incurvati</i> secondo una superficie cilindrica con asse verticale.
3	Le righe sono separate da una linea nera lasciando giustapposti i campioni all'interno di una riga.	I vari campioni appaiono al loro interno uniformi.
4	Le colonne sono separate da una linea nera lasciando giustapposti i campioni all'interno di una colonna.	I vari campioni appaiono al loro interno uniformi.

L'esperimento pare evidenziare solo l'influenza sulla brillantezza dovuta alla diversità di luminanza tra campi contigui.

- **Tristimolo e attivazione dei coni**

Il modulo propone 5 campioni di Munsell (5R/7/8, 5Y/7/8, 5G/7/8, 5B/7/8, 5P/7/8) aventi lo stesso valore 7, la stessa croma 8 e differente tinta sotto differenti illuminanti CIE standard e raccomandati. Nell'ordine sono proposti:

1. gli spettri degli illuminanti considerati;
2. il fattore di riflettanza spettrale dei 5 campioni di Munsell;
3. le sensibilità spettrali dei tre tipi di coni;

infine, combinando i fattori considerati nei tre punti precedenti, si schematizza il processo dell'attivazione dei fotorecettori e si propone il colore a questa associato. I colori non realizzabili col monitor in uso sono sostituiti da una loro simulazione.

- **Sistemi CIE**

Il modulo permette il passaggio tra tutti i sistemi colorimetrici della CIE (X, Y, Z) , (Y, x, y) , (L^*, a^*, b^*) , (L^*, h_{ab}, C_{ab}^*) , (L^*, u^*, v^*) , (L^*, h_{uv}, C_{uv}^*) e la rappresenta a monitor i colori per tutti gli osservatori standard e gli illuminanti standard e raccomandati.

- **Diagrammi di cromaticità**

Si rappresentano gli 11 diagrammi di cromaticità più significativi relativi all'osservatore CIE '31 con la possibile aggiunta delle ellissi di MacAdam, del luogo Planckiano, della regione RGB del monitor in uso e del reticolo xy sovrapposto.

- **Osservatore di VOS**

L'osservatore di Vos è ottenuto dall'osservatore CIE 1931 con la correzione di un errore sistematico nella regione delle corte lunghezze d'onda. Questo osservatore è usato dai fisiologi, e per esso sovente sono usate le coordinate del sistema di riferimento fondamentale (L, M, S) . È possibile il passaggio tra diversi sistemi di coordinate (X', Y', Z') , (Y', x', y') , (L, M, S) , (Y', l, m) , la graficazione di queste coordinate e la visualizzazione del colore.

- **Lunghezza d'onda dominante e purezza**

Ogni stimolo di colore è rappresentabile mediante la somma di due stimoli, uno con cromaticità nella regione centrale del diagramma di aromaticità, e uno con cromaticità sul bordo del diagramma di cromaticità. Se quest'ultimo si trova sullo spectrum locus, la lunghezza d'onda ad esso associata è detta *lunghezza d'onda dominante*. Se invece si trova sulla linea porpora si considera la lunghezza d'onda complementare.

Per una completa specificazione si suole definire la *purezza d'eccitazione* o , in alternativa la *purezza colorimetrica*. La purezza d'eccitazione è strettamente definita sul diagramma (x, y) della CIE mentre la purezza colorimetrica è definita sulle luminanze. I valori dei due tipi di purezza sono 0 per stimoli coincidenti con lo stimolo acromatico, e 1 per gli stimoli con aromaticità sul bordo del diagramma di cromaticità.

- **Specificazione del colore**

Questo modulo calcola la specificazione del colore di sorgenti luminose le cui distribuzioni spettrali di potenza sono note e memorizzate su file ASCII con estensione TXT nel modo seguente:

```
79
360,    0
380,    0
400,    0
405,    0
410,    1E-6
... ,    ...
... ,    ...
765,    9.81324E-4
770,    8.44064E-4
775,    7.79956E-4
780,    8.30296E-4
```


dove il numero nella prima riga è il numero di dati spettrali e le coppie di numeri sulle righe successive sono la lunghezza d'onda e il corrispondente valore radiometrico spettrale.

Questo modulo calcola anche la specificazione del colore di superfici illuminate il cui fattore di riflessione spettrale è noto, espresso su scala decimale o %, e memorizzato su file ASCII con estensione TXT nel modo seguente:

```
15
375.2,    34.8
390.7,    54.2
405.1,    62.9
425.8,    70.2
470.2,    65.8
494.5,    62.1
538.7,    55.7
547.0,    50.3
570.8,    60.8
591.0,    70.1
610.3,    62.1
642.0,    48.2
673.1,    39.5
721.4,    33.8
745.0,    32.1
```

dove il numero nella prima riga è il numero di dati spettrali e le coppie di numeri sulle righe successive sono rispettivamente la lunghezza d'onda e il corrispondente fattore di riflessione spettrale. In questo caso è richiesto anche di scegliere un illuminante.

Entrambe i tipi di calcolo richiedono la scelta di un osservatore, che può essere il CIE '31, il CIE '64 o il VOS.

- **Indice di resa del colore**

La qualità di una sorgente di luce nella resa dei colori avviene convenzionalmente per confronto con una sorgente di uguale temperatura prossimale di colore e spettro di tipo planckiano per temperatura di colore prossimale inferiore a 5000 K e di tipo *daylight* per temperatura prossimale uguale o superiore a 5000 K. Il risultato di questo confronto è sintetizzato nell'indice di resa del colore, che ha come valore massimo 100, ed a cui corrisponde la resa del colore uguale a quella della sorgente di confronto. La distribuzione spettrale di potenza delle sorgenti in esame deve essere memorizzata su file ASCII con estensione TXT secondo la forma all'inizio del punto precedente.

- **CIE 1976 $L^*a^*b^*$**

Questo modulo propone il sistema CIELAB sotto gli illuminanti CIE (standard e raccomandati). L'osservatore considerato è il CIE 1931.

I colori sono proposti nel sistema di coordinate cilindriche (L^* , C^*_{ab} , h_{ab}) in tavole a definito angolo di tinta h_{ab} con in ascissa la croma C^*_{ab} e in ordinata la chiarezza L^* .

Sono proposti solo i campioni riproducibili col monitor in uso. Ogni pagina a fissato angolo di tinta h_{ab} è proposta abbinata alla pagina con angolo di tinta complementare ($h_{ab} \pm 180^\circ$). L'operatore sceglie

- la sezione delle coordinate cilindriche: ad angolo di tinta h_{ab} costante;
- l'illuminante;
- il modo di proporre campioni di colore contigui, con o senza separazione (in questo modo si evidenzia il fenomeno del *contrasto simultaneo*, *cromatico* nell'ambito delle righe a chiarezza costante e *di luminanza* tra le colonne).

• **CIE 1976 $L^*u^*v^*$**

Quanto detto per il sistema CIELAB si ripete per il CIELUV, sostituendo le coordinate (a^* , b^*) con le (u^* , v^*). Si suole mettere in corrispondenza la *saturatione* $s_{uv} = C^*_{uv}/L^*$ alla *croma psicometrica* {chroma} C^*_{uv} .

• **Miscela dei colori nella stampa mediante resinatura**

Questo modulo propone i colori realizzabili in accordo con le equazioni di Neugebauer considerando gli inchiostri standard CEI sotto l'illuminante D_{65} e gli inchiostri ideali sotto gli illuminanti standard e raccomandati CIE. L'osservatore considerato è il CIE 1931. I colori sono proposti in tavole con 11×11 campioni disposti secondo un sistema di coordinate cartesiane. In ascissa e in ordinata sono riportati i ricoprimenti percentuali del pixel (passo 10%) dovuti a due inchiostri. Il ricoprimento percentuale del terzo inchiostro viene scelto con passo percentuale dell'1%. I campioni di colore non proposti sono irrealizzabili col monitor in uso.

L'operatore procede scegliendo:

- i due inchiostri, i cui ricoprimenti percentuali del pixel con passo 10% sono riportati in ordinata ed in ascissa;
- il tipo di inchiostri, ideali o standard CEI;
- l'illuminante, nel caso di inchiostri ideali;
- il ricoprimento percentuale del pixel dovuto al terzo inchiostro con passo percentuale 1%;
- il modo di proporre campioni di colore contigui, con separazione o senza separazione (in questo modo si evidenzia il fenomeno del *contrasto simultaneo*).

- **Miscela di due pigmenti**

Si propone la sintesi sottrattiva dei colori in cui il fattore di riflessione spettrale di uno strato colorato con pigmenti è ottenuto col *modello a due flussi* di Kubelka-Munck. Si considera così il solo effetto dovuto ai pigmenti all'interno dello strato colorato. Lo scopo dell'esercizio è di evidenziare come cambino il fattore di riflessione spettrale e il colore, al variare del rapporto di miscelazione di due soli pigmenti. Per questo scopo l'effetto superficiale di cui tiene conto la correzione di Saunderson può essere ignorato. L'operatore deve scegliere una coppia di pigmenti tra i 28 proposti (nella finestra di scelta i pigmenti sono proposti in miscela al 50% col pigmento bianco).

L'esercizio avviene sotto l'illuminante D_{65} e per l'osservatore standard CIE 1931. Altre scelte non aggiungerebbero valore all'esperienza.

Si ottengono 11 campioni di colore corrispondenti alle miscelazioni dei due pigmenti scelti in rapporti percentuali multipli di 10. Se i colori non sono realizzabili col monitor in uso essi sono simulati e messi in evidenza. Sono inoltre proposti i fattori di riflessione spettrale, $\log(S(\lambda)/K(\lambda))$ e le cromaticità (x,y) sul diagramma CIE 1931.

- **Miscela di quattro pigmenti**

Si propone la sintesi sottrattiva dei colori in cui il fattore di riflessione spettrale di uno strato colorato con pigmenti è ottenuto col *modello a due flussi* di Kubelka-Munck e correzione di Saunderson. L'operatore deve scegliere 4 pigmenti (nella finestra di scelta i pigmenti sono proposti in miscela al 50% col pigmento bianco). I colori delle miscele di questi 4 pigmenti sono proposti su un diagramma a coordinate baricentriche per ogni fissata concentrazione del quarto pigmento.

La riproduzione del colore dipende:

- dall'osservatore,
- dall'illuminante,
- dall'indice di rifrazione del veicolo in cui sono posti i pigmenti,
- dalla geometria di misurazione del fattore di riflettanza, che si suppone misurata con sfera d'integrazione, e può essere con componente speculare inclusa o esclusa.

L'operatore può verificare visivamente l'effetto delle variazioni sulla geometria di misurazione, dell'illuminante e dell'indice di rifrazione del veicolo.

Riconoscimenti

Gli autori ringraziano il Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca per il sostegno a questo lavoro col progetto di ricerca PRIN del MIUR 2005115173_003.

Il presente programma è frutto di un lungo lavoro iniziato anni fa da Cesare Pezzali, il quale fu costretto a interromperlo per sopraggiunti impegni. A lui va il riconoscimento dello sforzo iniziale. Si riconosce a Ivar Farup (Università di Gjøvik, Norvegia) una utile discussione sulla struttura di questo programma.

Si invitano gli utenti di questo programma a segnalare agli autori eventuali inesattezze, errori, suggerimenti, col fine di migliorarlo.

Bibliografia

1. Kaiser, P. K. & Boynton, R. M., *Human Color Vision*, Optical Society of America, Washington (1996).
2. A cura di Oleari C., *Misurare il colore*, Hoepli editore, Milano 1998
3. MacAdam, D. L. Ed., *Colorimetry-Fundamentals*, SPIE MS 77, SPIE - The International Society for Optical Engineering, Washington DC (1993).
4. Committee on Colorimetry of the O.S.A., *The Science of Color*, OSA - The Optical Society of America, Washington (1963).
5. Wyszecky, G. & Stiles, W.S., *Color Science*, John Wiley & Sons, New York (1982).
6. MacAdam, D. L., *Color Measurement*, Springer-Verlag, Berlin (1985).
7. Hunt, R. W. G., *Measuring Colour*, Ellis Horwood, New York (1991).
8. Wyszecky, G. & Judd, D. B., *Color in Business, Science and Industry*, John Wiley & Sons, New York (1975).
9. Ohta, N. & Robertson, A. R., *Colorimetry*, John Wiley & Sons, New York (2005).
10. Sève, R., *Physique de la couleur*, Masson, Paris (1996)
11. Malacara, D., *Color Vision and Colorimetry – Theory and Applications*, SPIE, Washington (2002)
12. Billmeyer Jr., F, Saltzman, M., *Principles of Color Technology*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, New York (1981).
13. McDonald, R. Ed., *Colour Physics for Industry*, Society of Dyers and Colourist, Bradford (1987).
14. Hunt, R. W. G., *The Reproduction of Colour in photography, printing & television*, Fountain Press, Tolworth (1987).
15. Travis, D., *Effective Color Displays*, Academic Press Ltd, London (1991).
16. Kang, H. R., *Color Technology for Electronic Imaging Devices*, SPIE - The International Society for Optical Engineering, Washington (1997).

Formulazione ‘spray’ di Retinex e rumore cromatico

EDOARDO PROVENZI, MARCO ROSSETTI

DIPARTIMENTO DI TECNOLOGIE DELL’INFORMAZIONE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO – POLO DI CREMA
Via Bramante, 65 – 26013 Crema, Tel. 0373 898041
provenzi@dti.unimi.it, mrossetti@crema.unimi.it

Abstract

Si presenta una nuova formulazione dell’algoritmo Retinex di Land e McCann, detta RSR ‘Random Spray Retinex’, nella quale i cammini atti a campionare l’informazione cromatica spaziale di un’immagine sono sostituiti da opportuni spray di pixel. RSR è maggiormente adatto all’analisi dell’azione locale dell’algoritmo, al tuning dei suoi parametri e si rivela computazionalmente più efficiente dell’originale. Come ogni algoritmo della famiglia Retinex, RSR esibisce rumore cromatico. Nell’articolo si mostra come l’introduzione di un semplice meccanismo possa ridurre fortemente il rumore cromatico indotto in aree di colore uniforme. Test e risultati sono presentati.

1. Introduzione

L’algoritmo Retinex di E. Land e J.J. McCann [1] costituisce uno dei primi e più importanti modelli computazionali capaci di simulare alcune delle caratteristiche del sistema visivo umano (SVU) relative alla percezione del colore. Le evidenze empiriche mostrano che tale percezione è influenzata sia dal processo di acquisizione retinico che da quello di elaborazione corticale (zona V4). Land e McCann coniarono di conseguenza il termine Retinex dalla crasi di ‘retina’, il tessuto oculare contenente i coni fotosensibili, e ‘cortex’, la corteccia cerebrale, sede della elaborazione dello stimolo proveniente dal nervo ottico.

Grazie ad una serie di numerosi esperimenti condotti tra il 1950 e il 1970, Land e McCann dimostrarono infatti che il SVU non è influenzato solo dal flusso luminoso *assoluto* proveniente da una zona della scena visiva osservata, ma anche dai *rapporti relativi* tra i flussi luminosi provenienti dalle altre aree della scena [1]. Sulla base di questa ed altre osservazioni, Land e McCann idearono e implementarono un algoritmo per simulare la trasformazione operata dal sistema retino-corticale sul segnale luminoso di ingresso al fine di ottenere l’entità corrispondente al colore effettivamente percepito, da essi chiamata *lightness*.

Descriviamo brevemente l’algoritmo Retinex originale: si consideri un’immagine digitale di tipo RGB con dinamica normalizzata in $(0,1]$ e si fissi un pixel i (detto *target*). Per tenere in considerazione il contesto dell’immagine attorno ad i , si sfruttano N cammini terminanti in i atti ad acquisire l’informazione cromatica

attorno al pixel target. In ogni cammino, l'algoritmo Retinex computa i rapporti tra le intensità dei pixel consecutivi, con l'aggiunta di queste due prescrizioni: se il rapporto non differisce da 1 più di un fissato valore di soglia, allora esso viene considerato unitario; se la catena di rapporti supera il valore 1 in un qualsiasi punto del cammino, allora il valore di lightness accumulato viene posto a 1, in modo tale da far ricominciare ex novo la computazione. I contributi di ogni cammino vengono infine mediati algebricamente a dare la lightness di i .

La prima prescrizione è detta *meccanismo di soglia* e, grazie ad esso, l'algoritmo non considera modificazioni di colore sotto-soglia dovute, ad esempio, ad imperfezioni nell'illuminazione della scena. La seconda prescrizione è detta *meccanismo di reset* ed è responsabile del cosiddetto comportamento white-patch di Retinex, ovvero del fatto che il punto che abilita il meccanismo di reset è promosso essere il riferimento locale per il bianco.

E' importante osservare che, in Retinex, i tre canali cromatici R, G e B vengono elaborati separatamente. Ciò consegue dalla volontà di mimare l'evidenza biologica secondo la quale i segnali provenienti dalle tre diverse tipologie di coni sono considerate indipendentemente l'una dall'altra dal SVU [1].

Un recente lavoro di analisi matematica dell'algoritmo Retinex [2] ha dimostrato che il meccanismo di soglia è in realtà superfluo in quanto le disomogeneità sotto-soglia vengono già compensate dalla computazione rapporto-reset e le ulteriori modifiche apportate dalla sogliatura sono ininfluenti o addirittura non corrispondenti alla reale percezione visiva. Ha quindi senso considerare l'algoritmo privato del meccanismo di soglia; tale rimozione rende estremamente più semplice la sua analisi da un punto di vista matematico. Si dimostra infatti che la formula per il calcolo della lightness di i nell'algoritmo privo del meccanismo di soglia diviene:

$$L(i) = I(i) \cdot \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \frac{1}{I(x_{H_k})} \quad (1)$$

essendo $I(x_{H_k})$ l'intensità del pixel più luminoso incontrato nel cammino γ_k . Si vede che il contributo di ogni cammino al calcolo della lightness è il semplice rapporto tra l'intensità del pixel target e quella del punto più luminoso attraversato. A questo punto è importante osservare che esistono evidenze psicofisiologiche del fatto che zone contigue fra loro hanno un'influenza cromatica reciproca maggiore rispetto a zone distanti fra loro. Tale proprietà viene detta *località della percezione cromatica*. Al fine di implementare la località, i sostegni dei cammini devono avere densità decrescente man mano ci si allontana dal target, in modo tale da dare maggiore 'peso' ai pixel più vicini. Possiamo quindi affermare che, come diretta conseguenza della formula (1), Retinex è un algoritmo von Kries locale [3], dove la località è data dalla geometria dei cammini.

Nel presente lavoro intendiamo sfruttare la formulazione matematica summenzionata per descrivere l'implementazione spray di Retinex, RSR, e per

analizzare *una delle origini* dell'insorgenza di rumore cromatico nelle immagini filtrate da questa tipologia di algoritmi.

2. Formulazione 'spray' di Retinex: RSR

Le informazioni fornite dalla formulazione matematica di Retinex, ricordata nell'Introduzione, hanno forti conseguenze sulla struttura di $P_i(\mathfrak{S})$, l'insieme dei cammini immersi nel dominio spaziale dell'immagine \mathfrak{S} e terminanti in i . Come conseguenza della formula (1) è naturale definire in $P_i(\mathfrak{S})$ la seguente relazione di equivalenza:

$$\gamma \equiv \eta \Leftrightarrow \max_{\gamma}(I) = \max_{\eta}(I).$$

Cammini appartenenti a differenti classi di equivalenza forniranno differenti contributi alla computazione della lightness, invece tutti i cammini appartenenti alla medesima classe di equivalenza forniranno esattamente lo stesso contributo. Ne consegue immediatamente che $P_i(\mathfrak{S})$ contiene molti cammini ridondanti e che l'insieme di cammini veramente interessante è $P_i(\mathfrak{S}) / \equiv$, l'insieme quoziente i cui elementi sono le classi di equivalenza di cammini, rispetto alla relazione di equivalenza sopra definita.

In ogni classe di equivalenza si può scegliere un singolo cammino rappresentativo al fine di ottenere il suo contributo alla lightness, in particolare il cammino più efficiente è quello costituito da due soli punti: $\{x_{H_k}, i\}$. Ne segue che le operazioni di ordinamento necessarie per generare i cammini sono perfettamente ininfluenti e possono essere eliminate con un grande risparmio computazionale.

Inoltre, da un punto di vista matematico, i cammini sono varietà topologiche di dimensione 1 immerse in una varietà topologica di dimensione 2: \mathfrak{S} . Quindi i cammini in realtà non scandagliano intorni dell'immagine, bensì particolari direzioni in questi intorni, inducendo (a volte) aloni o artefatti nel filtraggio.

Da queste considerazioni discende in modo naturale l'esigenza di una formulazione che utilizzi strutture geometriche bidimensionali, in luogo dei cammini, per attingere l'informazione cromatica. Nell'implementazione RSR si è deciso di sostituire i cammini con spray randomici di pixel. Vediamo come questi spray sono generati. Innanzitutto si genera una sequenza randomica uniforme di n punti in $[0,1]$, $\text{RAND}_n[0,1]$. Moltiplicando tale sequenza per un numero $R > 0$ (che costituirà il raggio dello spray) e 2π si generano le sequenze $\text{RAND}_n[0,R]$, e $\text{RAND}_n[0,2\pi]$, rispettivamente. Definiamo le coordinate polari del generico punto (j_x, j_y) di uno spray S in questo modo:

$$\begin{cases} j_x = i_x + \rho \cos \theta \\ j_y = i_y + \rho \sin \theta \end{cases} \quad (5)$$

dove (i_x, i_y) sono le coordinate cartesiane del pixel target, $\rho \in RAND[0, R]$, $\theta \in RAND[0, 2\pi]$.

I punti dello spray S descrivono una configurazione di n pixel estesi in un'area circolare centrata in i e di raggio R, caratterizzati da un'isotropia angolare e da una anisotropia radiale. In [4] si è dimostrato che, indicando con r la distanza dal centro dello spray, la densità radiale media dei punti di uno spray costruito nel modo descritto è:

$$\delta(r) = \frac{n}{\pi R r}. \quad (6)$$

Si nota che la densità radiale media decresce come l'inverso della distanza r dal centro dello spray, come si può vedere nella figura sottostante.

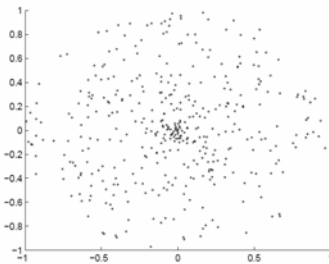


Fig. 1 - Esempio di spray utilizzato da RSR.

Dalla formula (1) segue che le uniche due operazioni che devono essere svolte all'interno dello spray per ottenere il suo contributo alla lightness sono il confronto tra i valori di luminosità dei pixel, al fine di determinare quello più luminoso, e il prodotto tra il reciproco di quest'ultimo e l'intensità di i.

L'analisi delle proprietà locali di RSR può essere effettuata applicando una funzione definita positiva f alla coordinata ρ , in modo tale da variare la densità radiale.

Prima di passare all'analisi della località mostriamo le corrispondenze tra la formulazione a cammini e la formulazione spray nella seguente tabella.

Cammino γ_k	Spray S_k
i = target del cammino	i = centro dello spray
Computazione rapporto-reset	Divisione sul pixel a massima intensità
n = numero di punti del cammino	n = numero di punti dello spray
N = numero di cammini per punto	N = numero di spray per punto

Tabella 1 – Corrispondenze tra Retinex a cammini e RSR

3. Parametri di RSR e loro significato

RSR dipende da 4 parametri: R (il raggio degli spray), f (che chiameremo *funzione di densità radiale*), n (il numero di pixel per spray) e N (il numero degli spray).

3.1. Il raggio R

Il raggio R definisce l'estensione dell'area circolare analizzata attorno al pixel i , il tuning di questo parametro ha stabilito che il suo valore ottimale, indipendentemente dagli altri tre parametri, è $R=DIAG$, la diagonale dell'immagine [4]. In questo modo si garantisce che *tutti i pixel dell'immagine* cadano all'interno dell'area dello spray e possano così essere confrontati.

3.2. La funzione di densità radiale f

Le funzioni di densità radiale testate sono il logaritmo, il seno iperbolico, le radici, l'esponenziale, la funzione gaussiana, le potenze intere e frazionarie e combinazioni di tutte queste funzioni. Nella figura sottostante vengono presentati, a titolo di esempio, gli spray corrispondenti al logaritmo e alla radice quadrata.

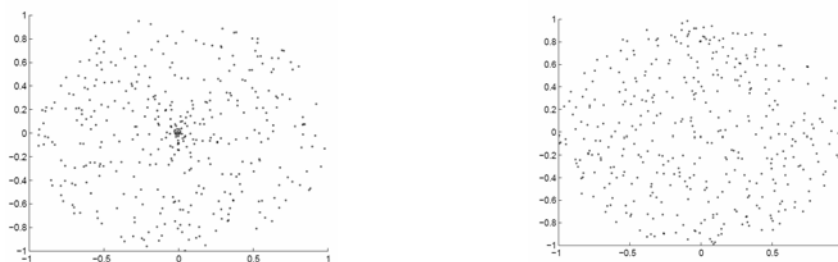


Fig. 2 - Effetto del logaritmo (sx.) e della radice quadrata (dx.) sulla densità radiale.

Si nota che l'effetto delle funzioni f è quello di modificare la densità radiale dello spray. Il tuning di questo parametro [4] ha mostrato che la geometria dello spray maggiormente adatta allo scopo di rimuovere le dominanti cromatiche del nostro test set di immagini e a quello di ripristinare una saturazione 'naturale' del colore è quella corrispondente alla Fig. 1; ossia, nessuna funzione f è risultata fornire risultati percettivamente e quantitativamente migliori rispetto alla funzione identità. Ciò ha permesso, di fatto, di eliminare il parametro f dall'algoritmo.

3.3. La coppia di parametri numerici (n , N)

Il parametro n determina l'ammontare di informazione cromatica campionata dallo spray, mentre il parametro N, essendo correlato ad un'operazione di media algebrica, controlla la quantità di rumore presente nell'immagine filtrata da RSR.

Il tuning di questi due parametri è ancora un problema aperto in Retinex a cammini, all'interno del modello RSR si è invece costruita la procedura di tuning autoconsistente che descriviamo di seguito.

Premettiamo che il nostro test set di immagini contiene più di 100 immagini geometriche e del mondo reale estremamente diverse fra loro, tutte quante alla risoluzione di 240x160.

Nella nostra procedura si sono filtrate le immagini incrementando n da 200 a 1500 con un passo costante di 50 punti e incrementando N da 5 a 60 con un passo costante di 5 spray. Successivamente si sono calcolate $\Delta E_n(N)$ e $\Delta E_N(n)$, le differenze CIELab tra le immagini filtrate con un fissato valore di n e due consecutivi valori di N , e viceversa. Si è osservato che sia $\Delta E_n(N)$ che $\Delta E_N(n)$ decrescono monotonamente per tutte le immagini.

Poiché due immagini sono considerate cromaticamente indistinguibili se $\Delta E < 1$, è naturale scegliere come valore ottimale per la coppia (n, N) la più piccola coppia di questi valori per i quali questa disuguaglianza vale. Questa procedura di tuning realizza un naturale compromesso tra la minimizzazione del tempo di filtraggio e la massimizzazione della sua qualità, questioni entrambe di rilevante importanza per un modello computazionale quale è RSR.

Poiché $\Delta E = \Delta E(n, N)$ dipende da due parametri è ovvio che il suo grafico sia una superficie. Nella figura sottostante presentiamo un esempio di tale superficie che interseca l'iperpiano $\Delta E=1$.

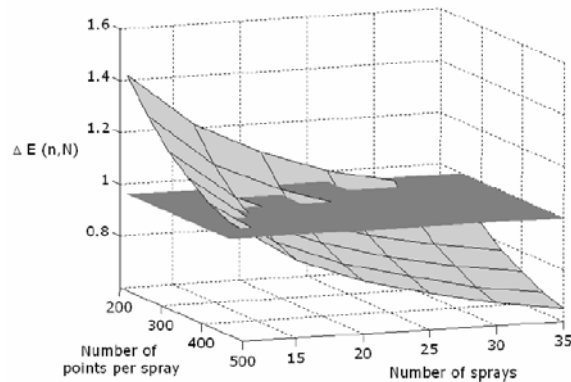


Fig. 3 - Superficie di differenza consecutiva al variare di n e N .

I nostri test hanno esibito che, mentre i parametri R ed f ottimali sono costanti per tutte le immagini ($R = \text{DIAG}$ e $f = \text{Id}$), l'accoppiata di parametri (n, N) è fortemente influenzata dalla dinamica cromatica dell'immagine e non può essere stabilita a priori.

4. Il comportamento di RSR sulle aree di colore uniforme

Sia l'originale computazione di rapporto-reset di Land e McCann che la normalizzazione sul pixel localmente più luminoso effettuata da RSR, sono meccanismi differenziali, in quanto coinvolgono rapporti relativi tra intensità di pixel.

Questa natura differenziale della computazione, intrinseca a Retinex, costituisce la base per molti altri algoritmi di simulazione della percezione cromatica, ad esempio [5].

Esiste tuttavia una situazione nella quale questo meccanismo differenziale fallisce: quando il supporto dello spray è contenuto completamente in un'area di colore uniforme.

È infatti evidente che quando un operatore differenziale (basato su rapporti, differenze, derivate, etc...) agisce su un segnale costante, fornisce un risultato triviale che può non corrispondere né alla realtà fisica né a quella percettiva del segnale stesso.

Ad esempio, il contributo al calcolo della lightness dato da uno spray che cade in una *qualsiasi* zona di colore uniforme è 1, indipendentemente dal colore originale della zona.

E' facile rendersi conto del fatto che non esiste un modo semplice per modificare analiticamente la formula (1) in maniera tale da contemplare questa situazione anomala. Infatti una simile manipolazione introdurrebbe dei meccanismi non lineari artificiali che varierebbero anche la computazione dei casi non-anomali e aumenterebbero notevolmente il costo computazionale, già alto, dell'algoritmo.

Per evitare questi problemi, nel presente lavoro, proponiamo di dividere in due situazioni separate l'analisi del segnale di input. Precisamente, decidiamo di considerare 'anomala' la condizione in cui $I(i) = I(j)$ per ogni j appartenente ad un dato spray, imponendo, in tal caso, che resti invariata la luminosità del pixel target. Naturalmente la condizione $I(i) = I(j)$ deve valere *in ogni canale cromatico*, altrimenti si avrebbe, di fatto, una variazione cromatica e la zona non potrebbe essere considerata uniforme. Per maggiore semplicità nella lettura, eviteremo questa specifica nel testo e nelle formule che seguiranno. Possiamo riassumere quanto detto ridefinendo il contributo alla lightness dato dal generico spray S in questo modo

$$L(i) = \begin{cases} I(i) & \text{se } I(i) = I(j) \quad \forall j \in S \\ \frac{I(i)}{I(x_H)} & \text{altrimenti.} \end{cases} \quad (7)$$

Chiamiamo *salvapixel* il meccanismo di esclusione del caso anomalo espresso nella formula (7).

In Fig. 5 possiamo osservare gli effetti dell'introduzione del salvapixel relativamente al filtraggio delle immagini di Fig. 4.



(a)



(b)

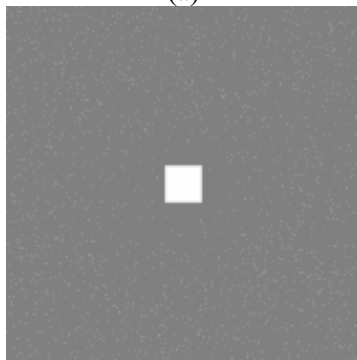
Fig. 4 - Immagini originali.



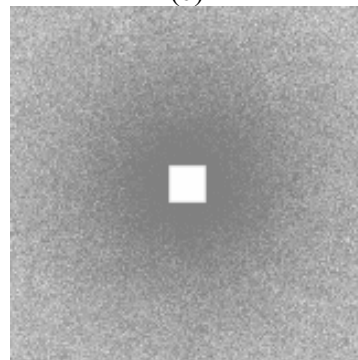
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 5 - Filtraggi con salvpixel (a) e (c); senza salvpixel (b) e (d).

Si noti che, nonostante il salvpixel produca filtraggi molto meno rumorosi e preservi dallo schiarimento le aree di colore uniforme, si hanno ancora dei pixel di

rumore cromatico isolato dal contesto uniforme. La presenza di questi pixel in Fig. 5 (c) è dovuta ad un sottile bordo grigio chiaro che separa il quadrato bianco dalla cornice esterna grigio scuro. Per gli spray che individuano il massimo nel bordo grigio chiaro, il meccanismo di salvapixel non verrà attivato e si opererà la normalizzazione relativa al valore di grigio del bordo sottile. Ciò è pienamente confermato dai valori di intensità dell'immagine di output: se si utilizza un solo cammino (e quindi si evita l'operazione di media algebrica) e si ritorna nell'usuale dinamica non normalizzata, 0-255, si può osservare che i pixel di rumore hanno *tutti* lo stesso valore pari a 143, che consegue dalla normalizzazione del grigio della cornice (128) sul grigio più chiaro del bordo (228).

Nella sezione successiva analizzeremo le conseguenze della presenza di questi pixel di rumore.

5. Relazione tra pixel isolati dal contesto e rumore cromatico in Retinex

Consideriamo l'immagine in Fig. 5 (c). Questa immagine contiene pixel isolati dal contesto uniforme nella cornice grigia esterna. In Fig. 6 è presentato il filtraggio da parte di Retinex, con meccanismo di salvapixel, dell'immagine in Fig. 5 (c).

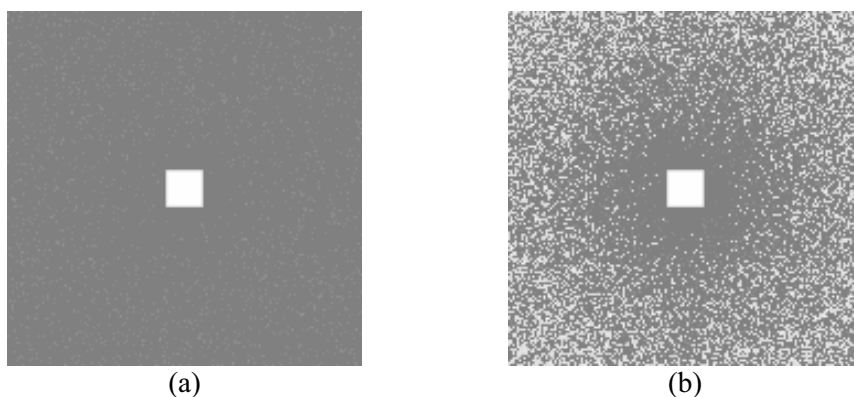


Fig. 6 - Rumore indotto da pixel isolati.

Si nota immediatamente che, mentre in Fig. 6 (a) i pixel isolati non risultano particolarmente distinguibili dal contesto uniforme della cornice grigia, in Fig. 6 (b) i punti di rumore coprono l'intera area.

Matematicamente ciò si spiega con il fatto che gli spray con centro che cade nella cornice grigia hanno una probabilità non nulla di trovare il massimo valore nei pixel isolati, fatto che rende inattivo il meccanismo salvapixel e impone una normalizzazione sul valore di intensità di tali pixel (che sono più chiari del contesto). Tale normalizzazione innalza il valore di lightness del target e produce il

grande incremento di rumore visibile in Fig. 6 (b). Nella sottosezione successiva mostreremo che, attraverso una semplice fase di pre-elaborazione, si può ridurre la sensibilità del meccanismo salvapixel rispetto alla presenza di pixel isolati dal contesto.

5.1. Pre-elaborazione

Esistono numerosi filtri, sia locali che globali, capaci di individuare, eliminare o ridurre i pixel isolati in un contesto di area uniforme [6]. La maggior parte di questi filtri sono estremamente veloci e semplici da implementare.

Premesso ciò, il procedimento che proponiamo per rendere più robusto il meccanismo salvapixel è il seguente:

1. si sottoponga l'immagine ad un filtro che rimuova i pixel isolati da aree uniformi. Chiamiamo "*immagine pre-filtrata*" il risultato ottenuto;
2. si consideri un generico pixel target i nell'*immagine originale*, di intensità $I(i)$ in un fissato canale cromatico e di coordinate cartesiane (x,y) ;
3. si considerino N spray con centro posizionato esattamente in (x,y) nell'*immagine pre-filtrata*;
4. per ogni spray si applichi la formula (1) considerando l'intensità $I(i)$ del pixel target nell'*immagine originale* e il massimo $I(x_{H_k})$ negli spray ambientati nell'*immagine pre-filtrata*;
5. si iterino i passi da 2. a 4. fino ad esaurire tutti i pixel dell'immagine nei tre canali cromatici.

Il fatto di ambientare gli spray nell'immagine pre-filtrata, nella quale sono stati eliminati i pixel isolati spuri, fa sì che l'azione di disturbo di questi ultimi, e la conseguente generazione di rumore cromatico, sia, di fatto, eliminata o ridotta notevolmente.

6. Conclusioni e prospettive

Si è presentata una innovativa formulazione dell'algoritmo Retinex, RSR, basata sull'uso di spray randomici anziché di cammini. Tale formulazione si dimostra essere più efficiente dal punto di vista computazionale e più adatta allo studio della località della percezione all'interno del modello Retinex. In RSR è possibile operare un tuning completo dei parametri attraverso una semplice procedura che si rivela tuttavia dipendente dalla dinamica cromatica delle immagini.

Si è inoltre discusso il problema della riduzione del rumore cromatico prodotto dall'algoritmo. Si è mostrato che l'introduzione di un semplice meccanismo, detto *salvapixel*, permette di limitare il rumore cromatico indotto dall'algoritmo in aree di colore omogeneo. Il meccanismo salvapixel si rivela tuttavia essere sensibile

alla presenza di pixel isolati in contesti uniformi. Questo difetto può essere limitato, rendendo il meccanismo più robusto, se si opera una semplice e veloce fase di pre-elaborazione delle immagini in input.

E' opinione degli autori che interessanti sviluppi alla ricerca in questo senso potrebbero derivare dall'analisi di filtri di pre-elaborazione più raffinati rispetto a quelli esaminati nel presente articolo.

Ringraziamenti: si ringraziano il Sig. Massimo Fierro per l'indispensabile collaborazione nella redazione dell'articolo [4] e, insieme al Dr. Carlo Gatta, per le molte ore di discussione spese al fine di comprendere il significato profondo del meccanismo salvapixel. Si ringrazia inoltre il Sig. Alan Zambello per il prezioso aiuto in fase di studio ed elaborazione del filtro di pre-processing.

Bibliografia

1. E. Land, J.J. McCann: "*Lightness and Retinex Theory*", JOSA A, 61, 1-11, 1971.
2. E. Provenzi, L. De Carli, A. Rizzi, D. Marini: "*Mathematical definition and analysis of the Retinex algorithm*", J. Opt. Soc. Am. A, 22, 2613-2621, 2005.
3. Johannes von Kries: "*Sources of color science, Chromatic adaptation*" (David L. MacAdam, ed.), MIT Press, Cambridge, MA, 109-119, 1970.
4. E. Provenzi, M. Fierro, A. Rizzi, L. De Carli, D. Gadia, D. Marini: "*Random Spray Retinex, a new Retinex implementation to investigate the local properties of the model*", accettato per la pubblicazione per IEEE Transactions on Image Processing.
5. A. Rizzi, C. Gatta, D. Marini: "*A new algorithm for unsupervised global and local color correction*", Patt. Rec. Lett., 124, 1663-1677, 2003.
6. R.C. Gonzales, R.E. Woods: "*Digital image processing*", 2nd edition, Prentice Hall (2002).

Spectral based color imaging using RGB digital still cameras: simulated experiments

SIMONE BIANCO, FRANCESCA GASPARINI, RAIMONDO SCHETTINI
DIPARTIMENTO DI INFORMATICA, SISTEMISTICA E COMUNICAZIONE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA
Via Bicocca degli Arcimboldi, 8 – 20126 Milano, Italy

1. Introduction

Objective assessment of color is essential in many applications. Traditionally device independent color description is obtained by device colorimetric characterization techniques that relate the imaging device responses, or RGB values, to device-independent CIE tristimulus. These techniques may work well, but they are constrained to a specific illuminant and observer to avoid metamerism. To overcome this problem, multispectral imaging has emerged as a new technology. In the typical multispectral acquisition system, the actual reflectance data are derived from multi-channel images using a characterization method. Estimated reflectances can be used as they are, or combined with given illuminant and observer effects to yield a specific traditional color representation. Despite its advantages, the wide diffusion of multispectral imaging is hampered by several factors; among them the intrinsic cost of the acquisition systems.

The present paper addresses the question of whether spectral-based characterization methods can outperform conventional characterization methods for RGB digital cameras.

Furthermore we investigate how low-cost spectral images can be obtained using two acquisitions of the same scene: the former acquired by a traditional RGB imaging device, the latter coupling the same camera with a suitable chosen absorption filter. The combination of the two acquisitions can be considered as acquired by a six band imaging device.

In this paper the performance of 3-channel digital still cameras and of modified (3x2-channel) digital still cameras are evaluated in terms of their capability to estimate spectral reflectance information. The experiments have been carried out using standard color charts and by simulating the behavior of the digital still cameras using the Image Systems Evaluation Toolkit (ISET) that has been developed at Stanford University [1].

2. Apparatus and sample set

All the experiments have been carried out using the Image Systems Evaluation Toolkit (ISET) [1] developed at Stanford University, which makes it possible to simulate the entire image processing pipeline of a digital camera. ISET combines optical modeling and sensor technology simulation, according to the typical digital camera pipeline depicted in Figure 1.

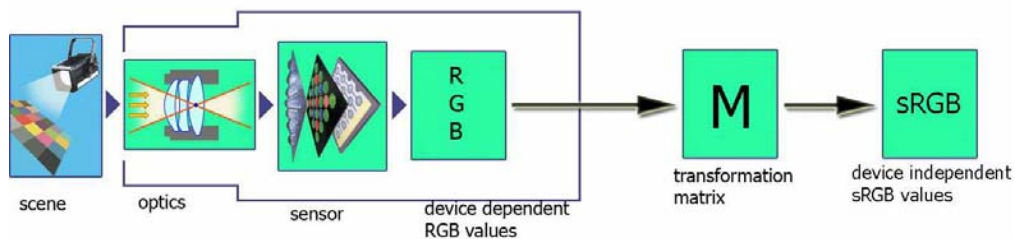


Figure 1. A typical digital still camera pipeline as it is implemented in the ISET.

The scene is a 2-dimensional map of the spectral irradiance that does not provide information about the distances between objects in the scene and the camera simulator. The imaging optics are modeled using a wave-optics approach which takes into account the finite resolution obtained with finite size optics. The user can vary the size of the aperture of the imaging optics by changing the f/number, which will automatically result in an adjustment of the image irradiance and resolution. Image irradiance is determined using radiometric concepts and includes the effect of the off-axis \cos^4 effect, which results in a darkening of the corners with respect to the center of the image when a uniform object is imaged.

Finite resolution is calculated using an optical transfer function (OTF) approach, which is based on the finite aperture as determined by the f/number. To account for wavelength dependent behavior, the OTF is implemented in a spectral manner.

Optical parameters, such as focal length, lens diameter, aperture, optical fall-off, transmittance, and additional simulation of the optics within the sensor pixel itself, based on the number of metal layers, size and position of the photodetector on the substrate, and microlens properties can also be specified.

The image sensor model includes the effects of the spatial sampling of the optical image by the image sensor with finite-size pixels with a given fill-factor. Both pixel size and fill-factor are user-defined parameters. Furthermore, the optical signal collected by each pixel is converted into an electrical signal on a wavelength-basis using a spectral QE. The resulting current is converted into a voltage using a

conversion gain. Both QE and conversion gain are user-defined parameters. To complete the physical signal pipeline, the analog voltage is converted into a digital signal according to the specifications of the user.

It is also possible to model noise, in terms of intrinsic noise, related to the optical signal, (i.e. the photon shot-noise), and noise introduced by the image sensor (read noise and fixed-pattern noise). The latter can be changed by the user depending on pixel properties described in the manufacturer's specification sheet of the image sensor.

The ISET proceeds with an image-processing pipeline operating on the linear RGB output of the sensor electronics. This pipeline includes various standard algorithms for setting auto-exposure duration, interpolating missing RGB sensor values and transforming RGB values for encoding and display (color-balancing, color-rendering and color-conversion).

In our experiments we are only interested in the RAW RGB device dependent description of the scene. To obtain a device independent description, we apply a matrixing transformation that maps the RAW RGB values into the corresponding sRGB values, based on the values of a known target, the sample set.

Furthermore, we try to reconstruct the spectral reflectances from the RAW RGB device dependent description of the scene, comparing the results in terms of colorimetric ΔE_{76} error, with those obtained with a traditional RGB imaging method

The data set used to test our methods is the Macbeth ColorChecker DC (MDC), whose reflectances were measured with a Minolta CM-2002 spectrophotometer.

3. Imaging methods

3.1. RGB imaging

The virtual camera simulator (ISET) is used to simulate a typical RGB digital still camera. The RAW digital data $D=\{D_i\}$, $i = 1,2,3$ (corresponding to the RGB device dependent values) of a typical digital still camera can be mathematically modeled for each pixel as follows:

$$D_i = n_i + t \sum_{\lambda=400}^{700} R_{\lambda} I_{\lambda} S_{\lambda, i} , \quad (1)$$

where $R=\{R_{\lambda}\}$ is the scene reflectance at the given pixel position, $I=\{I_{\lambda}\}$ is the spectral power distribution of the incident light, supposedly spatially uniform, $S_i=\{S_{\lambda}$

s_i , $i=1,2,3$ are the spectral sensitivities of the camera filters, t is the exposure time and n_i is an additive noise term.

Equation (1) computes the device dependent RGB values for a given pixel; to obtain a device independent representation of it, we have to build the best 3-by-3 matrix transformation M (called matrixing) that transforms the RAW RGB values (D) into the corresponding sRGB device independent values ($sD=\{sD_i\} i=1, 2, 3$):

$$sD = DM \quad (2)$$

There are several methods in literature to compute such a matrix M (Least Squares, White Point Preserving Least Squares, Polynomial Regression, Non Maximum Ignorance [3,4,5]). The simplest, here adopted, is to compute the best least squares 3-by-3 matrix for a given data set of known colors. The chosen sample set is the MDC under the CIE D65 standard illuminant [6]: half of the MDC samples, randomly chosen, was used as the training set to build the matrixing transformation M , the remainder was used as the test set.

3.2. Spectral imaging using a singular RGB camera acquisition

In the second experiment, the RAW values coming from the ISET are used to estimate the generalized pseudo inverse matrix M_R , incorporating singular value decomposition, to reconstruct the spectra of the colors of the training set, $R=\{R_\lambda\}$, where λ ranges between 400 and 700 nm and is sampled with a step of 10 nm:

$$R = DM_R \quad (3)$$

The matrix M_R is no more a 3-by-3, but a 3-by-31. As for the previous imaging method, there are several ways to calculate the matrix M_R , such as Least Squares with Toeplitz matrix, Smoothing Inverse and Linear Models [7,8]. The Generalized Pseudo Inverse is adopted here to estimate M_R :

$$D^T R = D^T DM_R, \quad (4)$$

$$(D^T D)^{-1} R = M_R. \quad (5)$$

The matrix M_R so obtained was applied to reconstruct the spectra of the test set, and the results were evaluated both in terms of colorimetric ΔE_{76} error and spectral RMSE error.

3.3. Spectral imaging using two RGB camera acquisitions

According to this approach, in the third experiment, two acquisitions of the same scene are taken: the former is acquired by a traditional RGB camera, the latter coupling the same camera with a suitable chosen absorption filter (Figure 2). Using the ISET this simply corresponds in placing the absorption filter in front of the Color Filter Array (CFA). The combination of the two acquisitions can be considered as the acquisition of a six band imaging device [9,10].

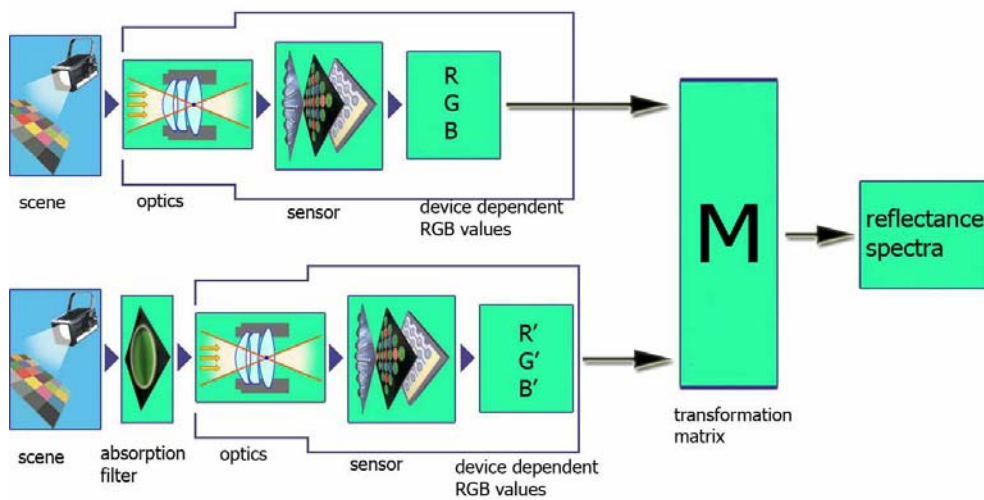


Figure 2. Flowchart of the analysis of the imaging approach: the two acquisitions give six color values (R, G, B, R', G', B') that are used to reconstruct the reflectance spectra.

The absorption filter was chosen among those filters available in the Schott filter glass catalogue [2] as the one that gives the best color accuracy for both ΔE_{76} and RMSE color errors on the training set (Figure 3).

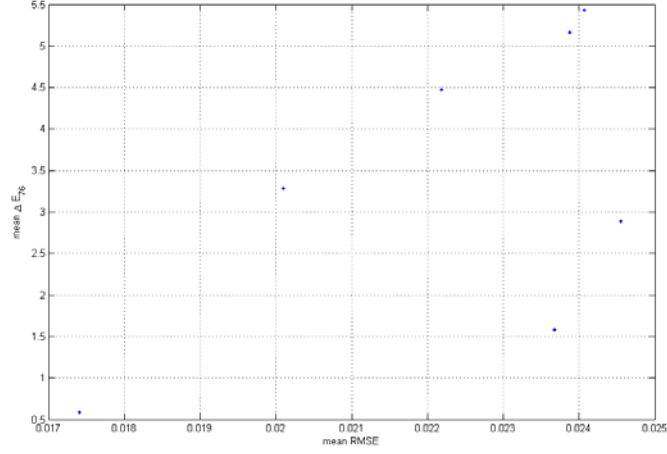


Figure 3. Mean colour errors (ΔE_{76} under D65) versus the mean spectral error (RMSE) using seven different absorption filters.

The RAW R'G'B' digital output, $D_{AF} = \{D_{AF,i}\}$, $i=1, 2, 3$, can be mathematically modeled as follows:

$$D_{AF,i} = n_i + t_{AF} \sum_{\lambda=400}^{700} F_{\lambda} R_{\lambda} I_{\lambda} S_{\lambda,i} \quad (6)$$

where $F = \{F_{\lambda}\}$ is the spectral transmittance of the absorption filter selected, and the other quantities are the same as equation (1).

This time we have three more information to reconstruct the spectra S of the MDC, and equation (3) becomes:

$$S = [DD_{AF}]M'_R \quad (7)$$

where now M is a 6-by-31 matrix.

4. Results

The spectral sensitivities of the ISET are plotted in Figure 4, while the spectral transmittance of the selected absorption filter ('vg9') and the three modified spectral

sensitivities obtained by coupling the original filters with the selected one are reported respectively in Figures 5 and 6.

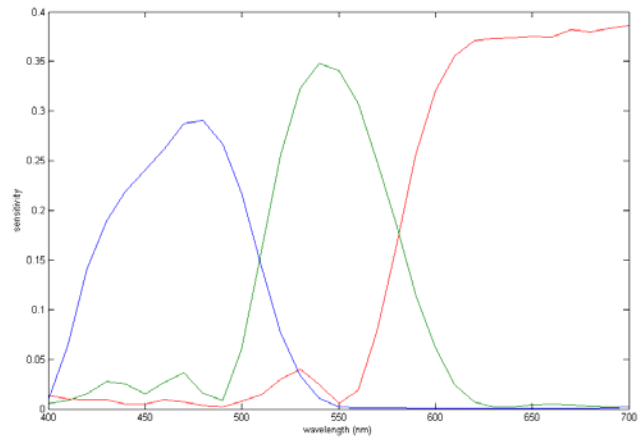


Figure 4. Spectral sensitivities of the ISET color filter array sensors.

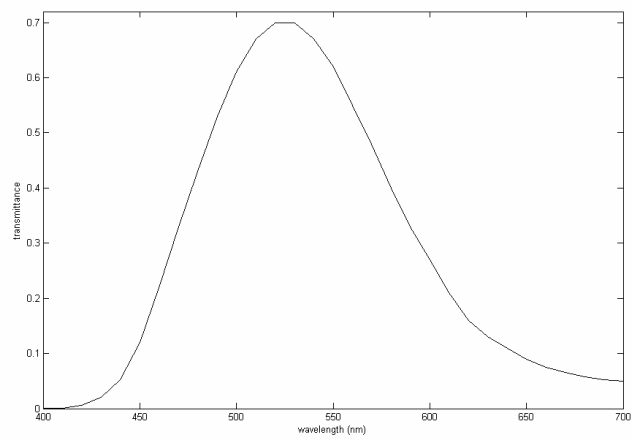


Figure 5. Spectral transmittance of the selected 'vg9' absorption filter

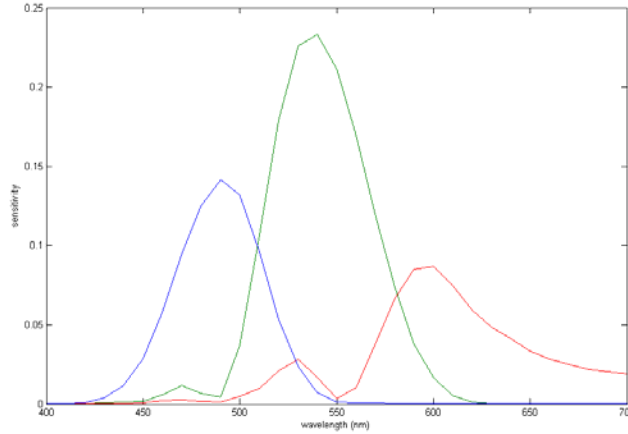


Figure 6. Spectral sensitivities of the ISET color filter array sensor with the 'vg9' filter placed in front of it.

The three transformation matrices, obtained respectively by the three experimental settings explained in Section 2 were compared with respect to both the training and the test sets. The acquisitions were made under the CIE D65 standard illuminant and the errors were evaluated under the same illuminant.

In Table 1 the results obtained on the training set are reported in terms of ΔE_{76} (for all the experiments) and RMSE (only for the second and the third).

Exp #	exposure time (ms)	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	RMSE	RMSE	RMSE	RMSE
		min	max	mean	std	min	max	mean	std
1 (M)	24.7	1.15	46.73	10.86	6.94	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2 (M_R)	24.7	0.14	42.30	5.49	6.10	0.00800	0.15064	0.03541	0.02573
3 (M'_R)	I:24.7 II:44.0	0.027	4.18	0.57	0.55	0.00532	0.11225	0.01725	0.01289

Table 1. Results obtained in the 3 different experiments in terms of ΔE_{76} colour differences and RMSE spectral error in the reconstruction of the MDC training set.

In Table 2 the results obtained on the test set are reported with respect to the same error metrics.

Exp #	exposure time (ms)	ΔE min	ΔE max	ΔE mean	ΔE std	RMSE min	RMSE max	RMSE mean	RMSE std
1 (M)	24.7	1.61	38.73	11.30	5.85	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2 (M_R)	24.7	0.43	32.65	6.04	5.66	0.00066	0.15249	0.03695	0.02551
3 (M'_R)	I:24.7 II:44.0	0.056	3.56	0.64	0.49	0.00201	0.08316	0.01826	0.01275

Table 2. Results obtained in the 3 different experiments in terms of ΔE_{76} colour differences and RMSE spectral error in the reconstruction of the MDC test set.

As can be seen from Table 1 and 2, the equipment simulated in the third experiment was able to achieve very good results. Although these came from a simulated digital camera and not from a real one, they are very close to the ones obtained on real experiments with other considerably more complex and expensive technologies [11].

As a final analysis, the transformation vectors from camera RAW values to spectral reflectances, i.e. the rows of the matrices of the second and the third experiments, are reported respectively in Figure 7 and 8.

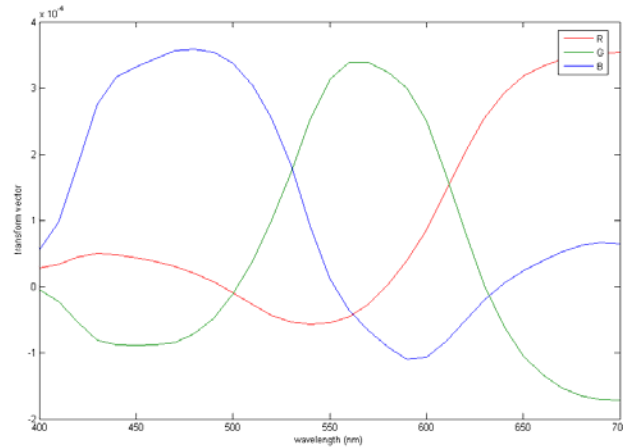


Figure 7. Transform vectors from camera RAW values to spectral reflectances for the second experiment, where M_R is a 3-by-31 matrix.

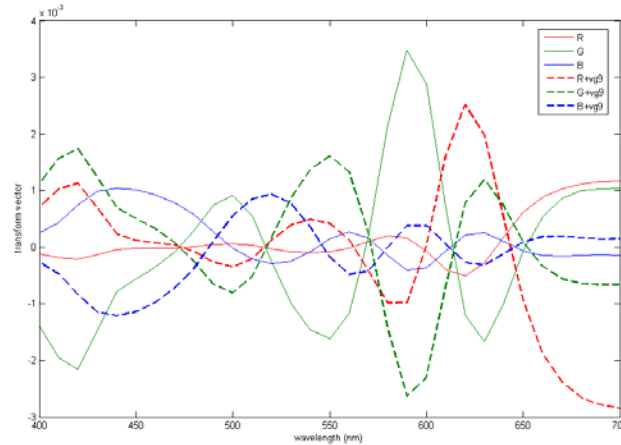


Figure 8. Transform vectors from camera RAW values to spectral reflectances for the third experiment, where M'_R is a 6-by-31 matrix.

Conclusions

The experiments showed that very good results can be achieved by simply using the RGB camera as a spectral based imaging device. These results can be further improved combining two different shots of the same scene acquired using the RGB camera with and without a properly chosen absorption filter. On the basis of these results we believe that the development of low-cost spectral based imaging devices having performance very close to more expensive and complex multispectral devices will be possible in the future.

Bibliography

1. J. Farrell, F. Xiao, P. Catrysse, B. Wandell, "A simulation tool for evaluating digital camera image quality", *Image Quality and System Performance*, 5294, 2003, pp.124-131.
2. http://www.schott.com/optics_devices/filter/english/index.html
3. G. D. Finlayson, M. S. Drew, "Constrained least-squares regression in color spaces", *Journal of Electronic Imaging*, 6, 1997, pp. 484-493.
4. G. A. F. Seber, "Linear regression analysis", John Wiley & Sons, 1977, New York.

5. M. J. Vrhel, "Mathematical methods of color correction", PhD thesis, North Carolina State University, Department of Electrical and Computer Engineering, 1993.
6. <http://www.cie.co.at/cie/>
7. F. Konig, W. Praefcke, "A multispectral scanner", *Colour Imaging: Vision and Technology*, L.W.MacDonald and M.R.Luo, Eds, John Wiley and Sons Ltd, 1999, pp, 129-144.
8. J.A.S. Viggiano, "Minimal knowledge assumptions in digital still camera characterization: uniform distribution, toepliz correlation", *Proceedings of IS&T/SID Ninth Color Imaging Conference*, Scottsdale, Arizona, 2001, pp. 332-336.
9. R.S. Berns, L.A. Taplin, M. Nezamabadi, M. Mohammadi, Y. Zhao, "Spectral imaging using a commercial colour-filter array digital camera", *Proc. of The 14th Triennial ICOM-CC meeting*, 2005, pp. 743-750.
10. F.H. Imai, "Multi-spectral image acquisition and spectral reconstruction using trichromatic digital camera system associated with absorption filtes", *MCSL Technical Report*, 1998.
11. G. Novati, "A multispectral imaging system", PhD thesis, Università degli Studi di Milano-Bicocca, Dipartimento di Informatica, Sistemistica e Comunicazione, 2005.

Hermann Günther Grassmann e la formalizzazione della colorimetria

MAURO BOSCAROL

Consulente per l'informatica e l'editoria
Via Berengario 28 – 41012 Carpi
mauro@boscarol.com

1. L'idea iniziale di Newton: il cerchio cromatico e la regola del baricentro

Nell'*Opticks* Isaac Newton (1643-1727 secondo il calendario gregoriano) aveva pubblicato le principali idee sulle quali egli basava un modello matematico di classificazione delle percezioni di colore: si trattava di un cerchio, da allora detto *cerchio cromatico di Newton*.

Ogni punto del cerchio rappresenta un colore. Sulla circonferenza del cerchio sono disposti i colori spettrali, da rosso a violetto mentre tutti i colori all'interno del cerchio sono ottenuti per mescolanza di spettrali. Nel centro c'è il bianco, e su ogni raggio che unisce il centro con un colore spettrale sono posti i vari gradi di saturazione di tale colore, dal bianco (saturazione nulla) al colore spettrale stesso (saturazione massima).

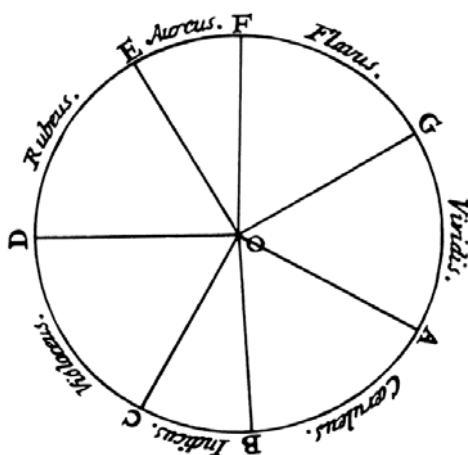


Fig. 1 - Il cerchio cromatico di Newton con i nomi latini dei colori (*rubeus* = rosso, *aureus* = arancio, *flavus* = giallo, *viridis* = verde, *cæruleus* = azzurro, *indicus* = indaco, *violaceus* = violetto).

Nel modello di Newton le diverse mescolanze di due colori in varie proporzioni relative stanno sul segmento retto che li unisce. In particolare, se si mescola una intensità a di colore A con una intensità b di colore B il risultato sarà una intensità

$a+b$ del colore M rappresentato dal punto che sta sul segmento AB in modo tale che AM stia a MB come b sta ad a . Se si considerano le intensità di colore come pesi, quella appena indicata è la regola di *costruzione del baricentro*.

Il cerchio cromatico di Newton è un modello bidimensionale in quanto specifica esplicitamente solo la parte cromatica del colore (cioè la tinta e la saturazione), ma Newton sapeva bene che un modello bidimensionale non era sufficiente ed infatti usava l'intensità (cioè la parte non cromatica) come terza dimensione implicita.

Newton stesso era conscio del fatto che il suo modello avrebbe dovuto essere perfezionato e precisato nei dettagli, e che la regola del baricentro fosse abbastanza rigorosa "per la pratica, sebbene non matematicamente rigorosa"¹.

Newton insomma aveva indicato i principi della scienza della misura dei colori, e, come scriveva in una lettera a Henry Oldenburg, segretario della Royal Society, l'11 luglio 1672,

se quei principi sono tali che a partire da essi un matematico può determinare tutti i fenomeni dei colori che possono essere causati dalla rifrazione [...] io suppongo che la scienza dei colori sarà ammessa matematicamente.

A questo punto era necessario costruire una teoria, la teoria della misura dei colori, formalizzando quei principi e traendone le necessarie deduzioni. Dovettero tuttavia passare più di 150 anni prima che sulle fondamenta gettate da Newton, un matematico tedesco, Hermann Grassmann, iniziasse a costruire le mura maestre della scienza della misura dei colori.

2. I postulati di Grassmann

Hermann Günther Grassmann (1809-1877), professore di matematica in un ginnasio di Stettin (che alla sua nascita era in Prussia, alla sua morte in Germania, oggi in Polonia con il nome di Szczecin) pubblicò il suo celebre articolo "Über die Theorie der Farbenmischung" (Sulla teoria della mescolanza dei colori, [1]) nel 1853.

Questo articolo, l'unico articolo di Grassmann sul colore, ha avuto grande influenza su tutti gli studi successivi sul colore. L'occasione per la sua stesura fu offerta a Grassmann da un precedente articolo di Hermann von Helmholtz nel quale l'autore, impegnato nella ricerca di coppie di colori la cui mescolanza desse il bianco (colori complementari), affermava di essere riuscito a trovare solo la coppia di complementari giallo e indaco. Helmholtz avanzava allora l'ipotesi che per produrre il bianco fossero necessari almeno tre colori spettrali.

Nel suo articolo² Grassmann si propone di dimostrare all'interno di una teoria che

¹ Ottica, Libro primo, parte II, proposizione VI, problema II.

² È di interesse storico il fatto che Grassmann aveva anticipato la sua teoria sulla mescolanza dei colori già nell'ottobre 1852, in una conferenza alla *Physikalischen Gesellschaft zu Stettin* (Società di fisica di Stettino) [6].

il modello di Newton, al contrario, implica un numero infinito di coppie di colori complementari.

Per dimostrare rigorosamente questa affermazione, Grassmann formula quattro postulati, cioè quattro leggi che riassumono l'esperienza di un osservatore impegnato nello studio della mescolanza additiva dei colori. Queste leggi sono il fondamento teorico sul quale si può costruire rigorosamente (cioè matematicamente) la teoria dei colori ed esprimono le proprietà del metamerismo in connessione con la mescolanza additiva.

Per fondare la teoria Grassmann propone di considerare come termini primitivi gli attributi (psicologici) del colore:

- tinta (rosso, giallo, verde, blu, ...);
- brillantezza³ del colore;
- brillantezza del bianco (cioè la brillantezza della componente di bianco del colore).

Grassmann introduce anche i due termini derivati di

- brillantezza totale = brillantezza del colore + brillantezza del bianco;
- saturazione = brillantezza del colore / brillantezza totale.

Definiti questi termini, Grassmann propone di postulare quanto segue.

1. Una sensazione di colore è completamente specificata da tre grandezze: la tinta, la brillantezza del colore e la brillantezza del bianco.
2. Se una luce varia con continuità, anche la sensazione di colore della mescolanza additiva con una seconda luce fissata varia con continuità.
3. Il risultato di una mescolanza additiva di colori dipende solo dal loro aspetto e non dalla loro composizione fisica.
4. L'intensità⁴ totale di una mescolanza additiva di colori è la somma delle intensità totali dei colori mescolati.

Le leggi di Grassmann, come da allora vengono chiamati i postulati, sono affermazioni evidenti che costituiscono la base dalla quale far discendere deduttivamente le altre affermazioni della colorimetria. Discutiamo ora brevemente il significato dei quattro postulati, la loro plausibilità sperimentale e il loro ruolo in colorimetria.

³ Grassmann utilizza *Intensität* (intensità), ma brillantezza (*brightness* in inglese) è il termine moderno per il concetto a cui Grassmann si riferisce in tutto il lavoro (a parte la quarta legge).

⁴ Anche in questa occasione Grassmann usa il termine *Intensität*, ma in questo caso, come fa notare MacAdam [7], la traduzione corretta sarebbe *luminanza* (e non brillantezza) che tuttavia farebbe diventare la quarta legge una tautologia.

3. La prima legge

Una sensazione di colore è completamente specificata da tre grandezze: la tinta, la brillantezza del colore e la brillantezza del bianco.

Questo postulato afferma che per definire una sensazione di colore è necessario e sufficiente specificare tre grandezze indipendenti. Già Newton aveva stabilito che ogni colore (spettrale e non) poteva essere specificato come mescolanza di una certa quantità di colore spettrale con una certa quantità di bianco. Le tre grandezze che specificano un colore qualunque sono dunque, sia per Newton che per Grassmann, la *tinta*, cioè l'unico colore spettrale che mescolato con il bianco dà il colore in questione, la *brillantezza del colore* e la *brillantezza del bianco*.

Grassmann descrive anche un apparecchio sperimentale mediante il quale è possibile misurare queste tre grandezze e presenta questa primo postulato come evidente sperimentalmente in quanto

finora nessun osservatore ha permesso di dare un altro elemento che determini la sensazione di colore, e il linguaggio stesso nel descrivere una sensazione di colore, conosce solo questi tre elementi.

Le diverse tinte costituiscono una serie circolare che comprende i colori dello spettro specificabili mediante la loro rifrattività (come faceva Newton) o con la lunghezza d'onda (come potrebbe fare Grassmann, che però si riferisce alle linee di Fraunhofer).

Su questo punto Grassmann commette un errore, che tuttavia non invalida la sua teoria. Egli infatti giudica uguali la tinte dell'estremo rosso e dell'estremo violetto dello spettro, più o meno come faceva Newton, e chiama "viola"⁵ questa tinta, che permette di chiudere a cerchio lo spettro.

In realtà, come mostrerà Helmholtz, i due estremi dello spettro (rosso e violetto) non hanno la stessa tinta, e nessuna delle due è viola. È invece vero che mescolando additivamente rosso e violetto si ottengono diverse gradazioni di viola. Questo errore farà trarre a Grassmann conclusioni errate a proposito dei colori complementari.

In questo primo postulato Grassmann introduce quella che oggi si chiama la *dimensione* dello spazio dei colori introducendo tre grandezze indipendenti. La questione della dimensione e dell'indipendenza era contenuta nei fondamenti stessi della principale opera di Grassmann, la *Ausdehnungslehre* che qui Grassmann ha occasione di verificare con un concreto esempio della cose della natura.

Grassmann afferma, presentando una base specifica, che la dimensione dello spazio dei colori è tre. La base è costituita da tinta, intensità del colore, intensità del bianco. Come sarà chiarito successivamente, la base potrà anche essere costituita da un'altra terna, per esempio le quantità di tre colori indipendenti (i mitici colori *primari*, inseguiti fin dal Settecento).

⁵ *Purpur* nell'originale tedesco.

4. La seconda legge

Se una luce varia con continuità, anche la sensazione di colore della mescolanza additiva con una seconda luce fissata varia con continuità.

Per Grassmann una tinta varia con continuità quando varia con continuità la lunghezza d'onda, ed inoltre, arrivati alla massima lunghezza d'onda (rosso) si passa alla minima (violetto) e viceversa (attraverso il viola). Il passaggio da violetto a rosso attraverso il viola, per l'occhio, è continuo come per un'altra coppia qualunque di colori vicini

anche se ancora le osservazioni non hanno permesso stabilire il confine al quale a diverse lunghezze d'onda corrisponde la stessa sensazione di colore.

Una sensazione di colore varia con continuità quando variano con continuità la brillantezza del colore, la brillantezza del bianco e, se la brillantezza del colore non è nulla, anche la tinta. Se la brillantezza del colore è nulla, cioè se la variazione avviene attraverso il bianco, una tinta può trasformarsi con continuità in un'altra di lunghezza d'onda completamente diversa.

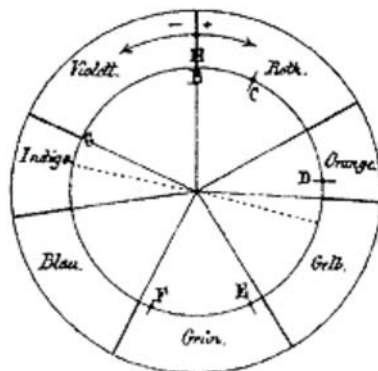


Fig. 2 – Illustrazione originale della seconda legge di Grassmann

Per Grassmann

anche questo secondo postulato è confermato dall'esperienza in quanto un salto finora non è stato notato da nessuno.

Sul tema della continuità Grassmann si stacca nettamente dalla descrizione di Newton, che aveva invece privilegiato una divisione discreta dello spettro in sette colori principali. Grassmann invece assume questa condizione di continuità in modo così rigoroso da supporre che il violetto ha lo stesso aspetto del rosso estremo, in modo tale che il cerchio è definitivamente chiuso. Come già detto, la formulazione va corretta introducendo una serie di colori tra il rosso ed il violetto,

non esclusivamente un colore, il viola, ma una serie di viola. Con questa modifica l'esperienza conferma questo postulato: non sono mai stati osservati bruschi mutamenti di colore al variare continuo della luce che ne produce la sensazione.

5. La terza legge

Il risultato di una mescolanza additiva di colori dipende solo dal loro aspetto e non dalla loro composizione fisica.

Il terzo postulato è di grande importanza perché permette di astrarre dalle caratteristiche fisiche della luce e di parlare semplicemente di colori. Esso ha permesso a Grassmann di interpretare i colori come vettori e la mescolanza di due colori come somma di due vettori.

Era già noto a Newton che due colori che appaiono uguali possono avere caratteristiche spettrali diverse. Per esempio, il colore M può essere formato dalla mescolanza di A e B oppure dalla mescolanza di C e D. Nel primo caso la caratteristica spettrale di M è la somma delle caratteristiche spettrali di A e B, nel secondo caso di C e D. Due colori che appaiono uguali ma hanno caratteristiche spettrali diverse si dicono colori *metameri*.

Ci si può chiedere se due colori metameri, cioè due colori visivamente uguali ma fisicamente diversi, mescolati con un terzo colore, diano come risultato due colori uguali, o se al contrario il risultato della mescolanza dipenda anche dalle caratteristiche fisiche. La risposta che fornisce l'esperienza è che il risultato di una mescolanza di colori è indipendente dalle loro caratteristiche spettrali, e dipende solo dal loro aspetto.

6. La quarta legge

L'intensità luminosa totale di una mescolanza additiva di colori è la somma delle intensità luminose dei colori mescolati.

Cioè l'intensità luminosa di una mescolanza è additiva. E infatti questo quarto postulato è noto anche come "additività delle luminosità" e come *legge di Abney*. Oggi si sa che questa affermazione è vera solo in casi particolari e Grassmann stesso notava che

questa legge non è così ben fondata come le precedenti ma da osservazioni teoriche sembra la più probabile.

Su suggerimento di Helmholtz, questa affermazione viene trattata per definire la *luminanza*, cioè la grandezza fotometrica corrispondente alla grandezza radiometrica detta radianza.

Come nota MacAdam [7] il termine intensità qui è "appropriato solo per sorgenti puntiformi e non per aree estese di colore di cui Grassmann sta discutendo".

7. I colori complementari

Oltre ad elencare i quattro postulati, Grassmann ne deriva anche alcune conseguenze. Dai primi due postulati è possibile dedurre matematicamente che “per ogni colore esiste un altro colore spettrale che mescolato con il primo dà il bianco” o, in termini moderni, che per ogni colore vi è un colore spettrale additivamente complementare.

Per quanto detto sopra, questa conclusione tuttavia non è corretta. Le varie gradazioni di verde non hanno complementari spettrali. I complementari dei verdi sono appunto quei viola (mescolanza di violetto e rosso, quindi non spettrali) che Grassmann ha mancato di considerare nella serie delle tinte e che sono stati introdotti da Helmholtz.

8. La rappresentazione geometrica dei colori

Sistemata la questione dei colori complementari, Grassmann introduce la rappresentazione *geometrica* (che oggi chiamiamo *vettoriale*) dei colori. I quattro postulati garantiscono che i colori obbediscono alla legge del baricentro e che le loro mescolanze possono essere rappresentate come somme geometriche, che Grassmann già aveva presentato nella *Ausdehnungslehre* (*Teoria dell'estensione*, pubblicata nel 1844) e in cui aveva dimostrato che il baricentro di due pesi A e B applicati nei punti *a* e *b* si può calcolare mediante una regola, oggi descritta in qualunque testo di fisica generale.

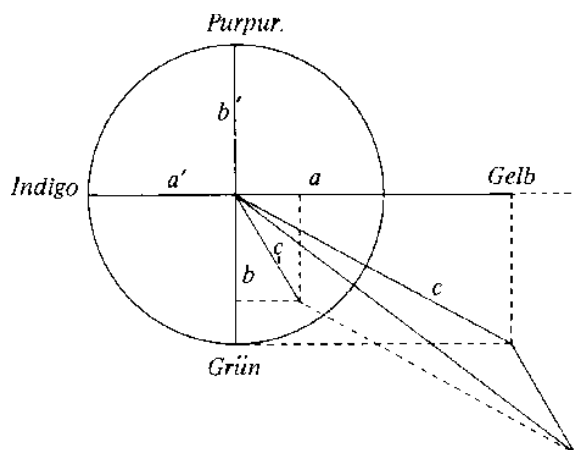


Fig. 3 – Rappresentazione geometrica dei colori secondi Grassmann

Ne segue che ogni colore può essere rappresentato nelle sue tre dimensioni con un

punto e un peso nel cerchio cromatico. La direzione nella quale questo punto C esce dal centro indica la tinta, il peso del punto l'intensità totale della luce. Il prodotto dell'intensità totale per la distanza dal centro è l'intensità del colore. Il prodotto dell'intensità totale per la distanza dalla periferia è l'intensità del bianco. Se si definisce la *saturazione* come l'intensità del colore diviso l'intensità della luce, tale saturazione è semplicemente rappresentata dalla distanza dal centro.

La conclusione di Grassmann è che dalle sue quattro leggi, ognuna ampiamente confermata dall'esperienza, si deducono risultati che sono in accordo con la regola empirica di Newton, e che tale deduzione è stata fatta "in modo puramente matematico".

Tuttavia, secondo Grassmann, il modo in cui Newton distribuisce i colori omogenei sulla circonferenza del suo cerchio necessita di una totale revisione. Questa revisione sarà intrapresa da Helmholtz e dai suoi allievi e porterà nel 1931 alla definizione del diagramma delle cromaticità come lo conosciamo oggi.

9. La versione moderna delle leggi di Grassmann

I primi riflessi delle leggi di Grassmann si trovano in Helmholtz e Maxwell. Helmholtz le utilizza e ne dà una propria versione nel suo *Manuale di ottica fisiologica* [13] mentre Maxwell, le utilizza per iniziare a misurare il luogo dei colori spettrali, un obiettivo indicato da Grassmann stesso nel suo articolo. König e Dieterici hanno successivamente perfezionato il lavoro di Maxwell e la loro determinazione dei colori spettrali è stata il punto di partenza per tutte le ricerche in questo campo [9].

Da allora in letteratura si trovano differenti formulazioni delle leggi di Grassmann [9]. Tra questa, quella di Erwin Schrödinger, di Manfred Richter, di P. J. Bouma. Una esposizione matematica formale è stata data da Krantz [12]. Indicata con il segno "=" la corrispondenza metamERICA tra stimoli di colore, con il segno "+" la mescolanza additiva tra stimoli di colore e dati gli stimoli di colore A, B, C e D, valgono le seguenti proprietà:

- simmetria se $A = B$ allora $B = A$
- transitività se $A = B$ e $B = C$ allora $A = C$
- proporzionalità se $A = B$ allora $a A = a B$ per ogni reale $a \neq 0$
- additività se $A = B$ e $C = D$ allora $(A + C) = (B + D)$
 se $A = B$ e $A + C = B + D$ allora $C = D$

Le prime due proprietà (assieme alla proprietà riflessiva $A = A$) definiscono una relazione di equivalenza tra gli stimoli di colore, la relazione tra stimoli metamERICI. I colori si possono dunque definire come classi di equivalenza di stimoli di colore che appaiono soggettivamente corrispondenti.

La terza (proporzionalità) stabilisce la compatibilità tra la variazione di intensità di uno stimolo di colore e la relazione di metamerismo, afferma cioè che il metamerismo viene conservato da una variazione di intensità.

Analogamente la quarta proprietà (additività, che deriva dalla terza legge di Grassmann) afferma che la relazione di metamerismo viene conservata quando ad ognuno di due stimoli metamERICI si mescolano stimoli metamERICI.

L'insieme degli stimoli di colore costituisce dunque (un cono convesso in) uno spazio vettoriale sui numeri reali, che è lo spazio di tristimolo. La prima legge di Grassmann afferma che questo spazio vettoriale è tridimensionale.

La validità in generale delle leggi di Grassmann è oggi in discussione, ed è noto che le leggi non sono esattamente vere per la visione umana in ogni situazione [14].

10. La personalità di Hermann Grassmann

Grassmann deve la propria popolarità non tanto al lavoro sulla mescolanza dei colori, ma soprattutto al fatto di aver fondato il calcolo vettoriale e l'algebra lineare⁶.

Nel 1844 Grassmann pubblica, all'età di 35 anni, il libro *Die lineale Ausdehnungslehre* (La teoria dell'estensione lineare), la sua opera principale. Per la novità dei contenuti e della particolare notazione, oltre che per la generalità e il rigore della presentazione, l'opera era di difficile lettura e non ebbe fortuna. Contribuì a questo anche il fatto che Grassmann cerca di spiegare, oltre ai risultati, anche le motivazioni delle sue ricerche. Ora, come dice Albert C. Lewis

la normale pratica matematica consisteva, e ancora ampiamente consiste, nel presentare i risultati in modo formale e di indicare le motivazioni con una nota informale, o addirittura di non indicarle

e quindi Grassmann, cercando di essere più chiaro, usa uno stile estraneo ai matematici del tempo, che infatti lo ignorano. Il libro ha scarsa diffusione e le copie rimaste presso l'editore vanno al macero.

Ma Grassmann non demorde. Riscrive completamente la sua opera (la seconda edizione appare nel 1861) omettendo completamente l'introduzione filosofica e pedagogica, e presentando i risultati con lo stile euclideo della definizione, teorema e dimostrazione. Contemporaneamente cerca esempi di applicazione della sua teoria e nel 1853 scrive a Möbius

⁶ Sembra una costante nella storia della scienza del colore il fatto che molti dei suoi principali protagonisti abbiano acquisito notorietà non per i loro lavori sul colore ma per i loro risultati in altri campi: Newton per il principio di gravitazione universal, Grassmann per l'algebra lineare, Helmholtz per la conservazione dell'energia, Maxwell per le equazioni del campo elettromagnetico, Schrödinger per la meccanica quantistica.

Ho recentemente scoperto una interessante applicazione del calcolo baricentrico nel campo dell'ottica ed ho presentato un articolo ai *Poggendorff's Annalen*. In esso deduco matematicamente da pochi postulati una regola per la mescolanza dei colori che Newton ha presentato nella sua *Opticks* come regola empirica adeguatamente in accordo con l'esperienza...

L'unico articolo di Grassmann sui colori era quindi legato alla possibilità di trovare esempi reali per la sua *Ausdehnungslehre*, che rimaneva il suo interesse principale e che voleva presentare come metodo geometrico per studiare le leggi della natura. La regola del baricentro, già enunciata da Newton a proposito dei colori, e già presentata da Grassmann come applicazione della sua teoria (e anche da Möbius in una forma un po' diversa), costituisce il collegamento tra i colori e la teoria di Grassmann.

C'è ancora da notare una particolare analogia tra la teoria dei colori di Newton e la teoria dell'estensione di Grassmann: ambedue furono accolte sfavorevolmente all'inizio (per Newton la *New Theory about Light and Colours*, per Grassmann la prima edizione del 1844 della *Ausdehnungslehre*); ambedue gli autori se la presero a male e decisero di riscrivere la presentazione in una seconda forma meno attaccabile (per Newton fu l'*Opticks* del 1704, per Grassmann la seconda edizione del 1861 della *Ausdehnungslehre*). Ma oltre a questo nel 1877, l'anno della sua morte, Grassmann "pensò che il mondo potesse essere pronto per la versione originale del 1844 e la fece ripubblicare".

A Grassmann, quale iniziatore dell'algebra lineare, si deve anche il concetto di dimensione (in senso moderno) di uno spazio e di dipendenza lineare, presente nella fondazione stessa della teoria dell'estensione. Questo concetto avrà un significato particolarmente importante nel corso dei successivi avvenimenti in colorimetria. Grassmann, il padre del modello matematico della visione dei colori, è ricordato dalla storia scientifica per il suo contributo all'idea di algebra lineare e spazio vettoriale.

Nel 1862, irritato per la mancanza di interesse per la sua opera matematica Grassmann si rivolge allo studio dei linguaggi e raggiunge in questo campo una notorietà che i suoi lavori matematici non gli avevano mai dati. Lo studio dei linguaggi in particolare del sanscrito, il campo in cui Grassmann ha avuto più riconoscimenti durante la sua vita. Il suo dizionario di sanscrito *Wörterbuch zum Rig-Veda* pubblicato a Lipsia nel 1873 rimane uno degli strumenti più importanti per lo studio dell'antico testo originale indiano, utilizzato ancor oggi (è in vendita online su Amazon).

11. Nota bibliografica

Isaac Newton pubblica nel 1704 *Opticks* di cui nei successivi anni si ebbero cinque edizioni, tre in inglese (1704, 1717, 1721) e due in latino (*Optice*, 1706, 1719).

La prima traduzione in italiano è in *Scritti di Ottica di Isaac Newton* (a cura di

Alberto Pala), Torino: Utet (1978), da cui sono tratte le citazioni.

Il lavoro originale di Grassmann sulle mescolanza dei colori (in tedesco) è [1] successivamente ampliato (sempre in tedesco) in [2]. Ambedue questi articoli sono riprodotti nella raccolta completa delle opere [3]. Il lavoro originale è stato recentemente ristampato in copia anastatica (senza i grafici) in [4].

La prima traduzione in inglese dell'articolo di Grassmann è del 1854 [5], l'anno successivo della pubblicazione dell'originale, ed è stato riprodotto con le annotazioni di F. Engel in [6] e anche, parzialmente e con le annotazioni di David L. MacAdam, in [7].

Notizie su Grassmann e i suoi lavori matematici si trovano in un articolo uscito poco dopo la sua morte [8]. In occasione del centenario della pubblicazione originale di Grassmann sui colori è apparso [9]. In occasione del 150° anniversario della pubblicazione della *Ausdehnungslehre* si è tenuto in Germania un convegno per il quale R. Steven Turner ha scritto un articolo [10] sul ruolo di Grassmann nella fondazione della colorimetria.

Per la biografia di Grassmann si veda l'articolo di Eugenio Togliatti in *Scienziati e Tecnologi dalle origini al 1875*, Mondadori 1975.

12. Bibliografia

1. H. Grassmann "Zur Theorie der Farbenmischung" *Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie* **89** (1) 69-84 (1853)
2. H. Grassmann "Bemerkungen zur Theorie der Farbenempfindungen", in appendice a W. Preyer *Elementen der reinen Empfindungslehre* Jena: Dufft 85-93 (1877)
3. J. Lüroth e F. Engel (a cura di) *Hermann Grassmann's Gesammelte mathematische und physikalische Werke* 3 volumi, Leipzig: Teubner, (1902)
4. T. Lampert *Zur Wissenschaftstheorie der Farbenlehre* Berns Studies in the History and Philosophy of Science (2000)
5. H. Grassmann "On the Theory of Compound Colours" *Philosophical Magazine* **4** (7) 254-264 (1854)
6. H. Grassmann *A New Branch of Mathematics, The Ausdehnungslehre of 1844 and Other Works* translated by L. C. Kannenberg, Open Court Publishing Company (1995)
7. D. L. MacAdam (a cura di) *Source of Color Science*, MIT Press (1970)
8. H. Grassmann "Sein Leben und sein mathematischen Arbeiten" *Mathem. Ann.* **14** 1-45 (1879)
9. H. Frieser "Die Grassmann Gesetze" *Farbe* **2** 91-108 (1953)
10. R. Steven Turner "The Origins of Colorimetry: What Did Helmholtz and Maxwell Learn from Grassmann?" in *Hermann Gunther Grassmann (1809-1877): Visionary Mathematician, Scientist and Neohumanist Scholar*, Gert Schubring, Ed., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, (1996)
11. C. Oleari (a cura di) *Misurare il colore* Hoepli (1998)

12. D. H. Krantz “Color measurement and color theory: I. Representation theorem for Grassmann Structures” *Journal of Mathematical Psychology*, 12 283-303 (1975)
13. H. von Helmholtz *Handbuch der physiologischen Optik*, II ed. (1896)
14. M. H. Brill *Open Problems on the Validity of Grassmann's Laws* ISCC/CIE Expert Symposium, Ottawa (2006)

“Abu ibn al-Hasan ibn al-Haitham detto Alhazen. Anno 1000 d.c.: Luce ed Ombra nelle sperimentazioni del teorico mussulmano”

DANIELE CALISI

DIPARTIMENTO DI RILEVAMENTO, ANALISI E RAPPRESENTAZIONE
DELL'ARCHITETTURA E DELL'AMBIENTE

DOTTORATO DI RICERCA IN SCIENZE DELLA RAPPRESENTAZIONE E DEL RILIEVO
Via Rimini, 14 – 00182 Roma, Tel. 06 70454789, Fax: 06 70454789
d.calisi@gmail.com

1. Introduzione

Nell'ambito delle teorie della visione e della luce ampio merito va conferito allo scienziato mussulmano Alhazen, vissuto a cavallo tra due millenni. Alla vastissima produzione scientifica dell'epoca classica greca e romana, seguì l'interesse e lo sviluppo nei diversi campi da parte della cultura araba. Alhazen ereditò ed assimilò i temi ottici, attuò sperimentazioni nuove e scrisse la *Perspectivae*, testo che divenne tramite tra antiche dissertazioni ed il copioso e rinnovato interesse per i fenomeni visivi in occidente nel 1200 con la scuola di Oxford e quella Italiana con Vitellione e i successivi sviluppi. Il testo è diviso in VII libri in cui tratta Ottica, Diottrica e Catottrica, e nel terzo capitolo del Libro I svolge una ricerca sulle proprietà della luce e sui problemi di radiazione della stessa attraverso un esperimento pratico dettagliatamente descritto riportato nell'articolo e interpretato criticamente per mezzo dello strumento informatico.

2. Sviluppo

Le teorie della visione e della luce hanno avuto grandi teorici fin dal periodo classico: scienziati e filosofi affascinati dai principi alla base della vista umana. In particolare le teorie della luce ebbero un largo sviluppo, collegate con la teoria delle ombre, che permise la soluzione di numerosi problemi anche di carattere geografico come la forma della terra, delle eclissi e della rivoluzione della luna intorno alla terra.

Numerose furono le trattazioni di ottica: ragionamenti e disquisizioni atte a risolvere problemi che possono oggi sembrare superflui, ma che non lo erano affatto se contestualizzate alla continua ricerca e alla graduale conoscenza che è tipica della natura umana.

Tra gli scritti più importanti a noi pervenuti, le due opere dal titolo *optikè*, la prima di Euclide (fine del IV – inizio del III sec. a.C.), la seconda di Tolomeo (II sec. d.C.), sono testi di carattere scientifico in cui le nozioni, i teoremi, le definizioni comprese furono, per i secoli successivi, base ed oggetto di nuove teorie fino allo sviluppo delle attuali conoscenze.

In riferimento ai problemi della visione, il mondo antico ammetteva due opposte teorie: una estromissiva in cui i raggi visivi erano un fluido emesso dagli occhi e una intromissiva che ipotizzava fossero i corpi ad emettere loro simulacri o scorze (o meglio *eidola* in greco, *species* in latino), capaci di contrarsi ed attraversare la pupilla ed infine trasformarsi in

immagini. In ambedue i casi i raggi visivi erano pensati rettilinei e derivabili per rifrazione (diottrica) o riflessione (catottrica).

I riferimenti alle teorie estromissiva ed alla sua opposta si ritrovano per secoli fino al prevalere di quella intromissiva, fortemente sostenuta, da Abu ibn al-Hasan ibn al-Haitham noto in occidente come Alhazen (965 – 1039) il quale, pur accettando tale dottrina, confutò l'esistenza degli *eidola* democritei contraibili, sostituiti da infiniti punti di dimensione infinitesimale che non avevano bisogno di contrarsi per poter passare attraverso la pupilla.

All'interno delle dottrine della visione si svilupperanno solo più tardi le teorie della luce, delle ombre e del chiaroscuro come parte delle prime.

Il trattato di *Perspectivae* di Alhazen deve essere considerato quindi all'interno di un più ampio contesto islamico ed europeo partendo dall'antica Grecia delle cui teorie lo scienziato fa tesoro, rivisitandole in maniera innovativa, e realizzando un'opera fortemente influente per i secoli futuri.

Alhazen, per l'anatomia dell'occhio, si rifà alle teorie di Galeno, ipotizzando che la parte sensitiva del bulbo oculare sia il cristallino e legando tali nozioni organiche alle teorie filosofiche del mondo classico ellenistico. Lo scienziato islamico dimostra, in modo semplice che la teoria della visione valida è quella intromissiva: da ogni punto dell'oggetto escono infiniti raggi orientati radialmente i quali entrano nell'occhio e vengono percepiti dal cristallino. Adotta però alcune specificazioni: a) solamente i raggi perpendicolari alla retina raggiungono il cristallino senza riflessioni e rifrazioni, e sono gli unici che determinano la visione dell'oggetto attraverso una corrispondenza biunivoca punto dell'oggetto e punto nel cristallino. Secondo Alhazen solo in questo modo non si creano immagini sovrapposte sulla retina conseguenti l'ingresso di più raggi dallo stesso punto all'interno dell'occhio; b) la validità della teoria intromissiva atomista viene dimostrata attraverso un esempio derivato dall'esperienza reale per cui quando il cristallino percepisce una forte luce l'occhio soffre, prova dolore come se fosse stato punto. Tale fenomeno si spiega solamente se effettivamente i raggi provengono dall'ambiente esterno ed entrano nell'occhio.

Sostanzialmente il testo di Alhazen è un testo di ottica che cerca di risolvere i problemi percettivi, ma non da definizioni geometriche. Tutta l'opera è divisa in 7 libri: nei primi 3 tratta i meccanismi della visione, andando alla ricerca della natura della luce e dei colori e del modo in cui si propagano, la fisiologia dell'occhio e quali condizioni devono essere soddisfatte affinché avvenga la visione. In riferimento ai raggi visivi introduce il concetto di cono ottico che ha il vertice nel centro dell'occhio, e attraverso una serie di dimostrazioni determina anche il modo in cui riusciamo a vedere attraverso due occhi, riprendendo così il problema della parallasse nella visione binoculare. Pur senza nozioni scientifiche, afferma che la visione sarebbe impossibile senza la luce, perché senza di essa la "forma" dei colori di un oggetto non si potrebbe manifestare, e non potrebbe raggiungere l'occhio congiuntamente con la luce stessa.

Gli argomenti trattati nei libri successivi sono: la riflessione dei raggi luminosi e il punto brillante (I libri IV e V); gli errori della visione connessi alla riflessione (Libro VI); la rifrazione dei raggi luminosi per mezzo di oggetti trasparenti e semiopachi (Libro VII).

Nei primi tre libri Alhazen pone tutte le problematiche della percezione, intuendo che, in primis, la visione avviene non solo attraverso l'occhio che propriamente percepisce solo la luce come luce ed il colore come colore, ma grazie ad un processo di deduzione e giudizio che il cervello attua, confrontando ciò che vediamo col suo bagaglio di informazioni visive di oggetti, luci, ombre e forme. Questo processo ci permette di riconoscere ciò che vediamo.

L'autore pone tutta una serie di categorie che riguardano la percezione, come, cioè, l'occhio percepisce: la distanza, la posizione, la solidità, la forma, la dimensione e due differenti grandezze vicine, la separazione, la continuità, il numero, la ruvidità, la levigatezza, la trasparenza, le ombre, il buio, la bellezza, la somiglianza.

Rispetto a tutte queste categorie, Alhazen stabilisce un intervallo di moderatezza oltre il quale la vista cade in errore, e lo scienziato va ad analizzare caso per caso le motivazioni per cui la vista sbaglia nella visione.

Nel terzo capitolo del Libro I svolge una ricerca sulle proprietà della luce e sui problemi di radiazione della luce.

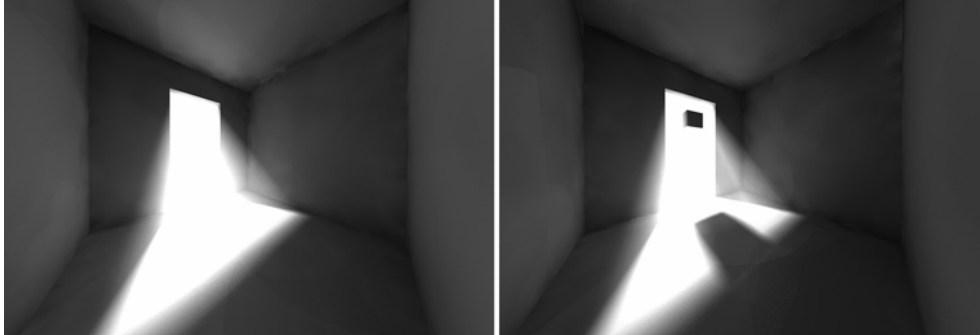
Dai corpi luminanti la luce illumina le superfici dei corpi, come accade per il sole, la luna e le stelle. Alhazen ha chiaro il concetto di ombra, e, infatti, già nelle prime proposizioni afferma che la luce si irradia in modo rettilineo, e che, per esempio nel caso del sole, essa colpisce un corpo e lo rende visibile ponendo come condizione che tra esso e la sorgente di luce non si interponga un altro corpo opaco (che naturalmente lo oscurerebbe). Inoltre afferma che una volta colpito dalla luce è il corpo stesso a irradiare in tutte le direzioni dei raggi luminosi. La stessa cosa avviene naturalmente anche nel caso della luna, delle stelle e del fuoco.

La propagazione rettilinea dei raggi luminosi viene dimostrata facendo riferimento alla luce solare che entra in una stanza buia attraverso un foro, una feritoia o una porta. Mettendosi all'interno della stanza si può facilmente notare il fascio di luce con i bordi rettilinei (che ricalcano il foro e proiettano la sua forma sul pavimento), visibile grazie alla polvere o al fumo presente nell'aria.

In caso però l'aria fosse limpida si può comunque verificare la rettilinearità utilizzando le ombre: si prenda un corpo opaco e lo si posizioni immerso nel fascio di luce. Esso verrà colpito dai raggi e provocherà un'ombra: a qualunque posizione interna al fascio di luce si può tirare un retta (anche per mezzo di un'asta) e verificare l'ipotesi. Scegliendo un qualsiasi corpo che crea un intervallo all'interno di qualsiasi fascio di luce, dritto, storto o anche curvo (determinato dalla forma della feritoia), ad ogni punto di tale intervallo non corrisponde nessun punto di luce (in altre parole corrisponde un'ombra) sulla superficie che il fascio illumina.

Alhazen segue affermando che tale dimostrazione è ancora più facile da capire nel caso di piccoli fori sulla parete. Egli sostiene giustamente che la luce che attraversa un foro si proietta sulla parete, ed esorta lo sperimentatore a misurare le distanze e a verificare che i raggi luminosi sono effettivamente rettilinei. In tal caso i raggi sono sì rettilinei, ma vanno a creare un cono ottico il cui vertice è nel foro (praticamente una camera oscura). Questo significa che l'immagine prodotta all'interno della stanza buia è rovesciata. Ciò sarebbe evidente effettuando l'esperimento con una luce quale il fuoco, che ha una dimensione misurabile. Egli propone di unire il foro con un punto della luce interna alla stanza per mezzo di un'asta e prolungarla: essa raggiungerà il punto del fuoco che crea luce, e ciò dimostra che i raggi sono rettilinei. Non fa cenno, tuttavia, in questo esperimento del fuoco, all'immagine che si crea nella stanza oscura che dovrebbe essere sottosopra, e pur avendo tutte le nozioni per introdurre già nell'anno mille la camera oscura (preludio della fotografia), concepita invece solo molto più tardi e tanto cara ai pittori, soprattutto di paesaggi. Alhazen afferma, inoltre, che le proprietà della luce finora descritte possono essere ricercate anche nelle ombre, poiché ponendo un corpo sotto una qualsiasi luce che si propaga fino ad un corpo opaco (suolo o parete) esso produce ombra. Queste ombre si propagano sempre in modo rettilineo, e le regioni d'ombra sono create da raggi luminosi retti che vengono intercettati dal corpo opaco e non possono quindi attraversarlo; in

maniera analoga, attraverso l'asta, si può unire uno spigolo dell'ombra con lo spigolo del corpo e verificarne l'allineamento con la sorgente di luce.



Nei paragrafi seguenti si parla del sole e anche delle eclissi per dimostrare che la luce del sole non si irradia solo dal centro del disco in maniera rettilinea, ma da ogni parte di esso i raggi sono retti. Analizza ovvero la questione della penombra, che venne razionalizzata in schizzi grafici solo più tardi da Leonardo da Vinci.

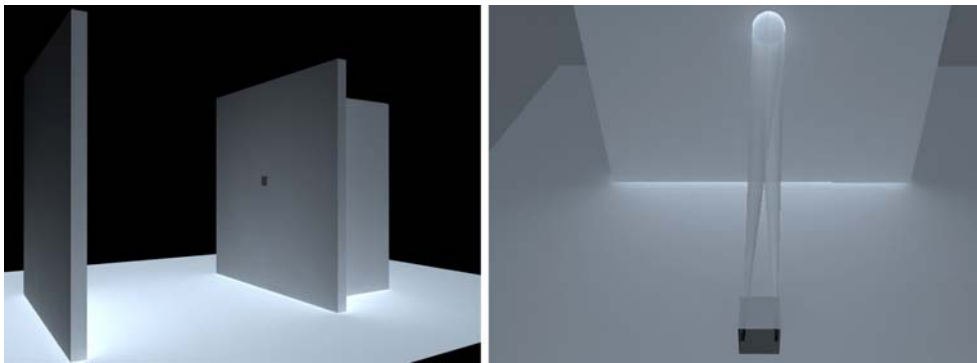
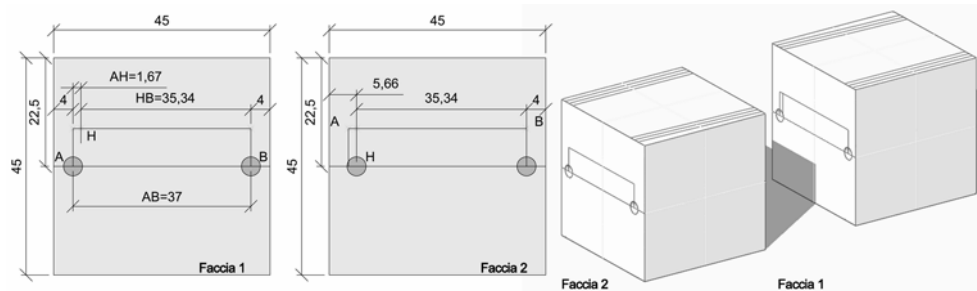
Indagando il testo di Alhazen, è difficile non notare la precisione e la copiosità di dettagli che lo scienziato usa nel descrivere le sue numerose sperimentazioni. Ma un esperimento in particolare, il più affascinante tra tutti quelli studiati, vorrei porre all'attenzione dell'interlocutore: un esperimento con il quale dimostra ancora una volta la rettilinearità dei raggi luminosi, ma soprattutto il fatto che i corpi luminosi (o illuminati) emettono raggi rettilinei in tutte le direzioni, riflettendo così sulla legge riflessiva di raggi incidenti.

Per poter eseguire l'esperimento si avvale di due pareti opposte che chiameremo per semplicità parete A e B, di cui la B deve essere bianca e sottoposta alla luce del giorno, la A ha le stesse caratteristiche ma alle sue spalle deve essere posta una camera oscura; inoltre necessità di un blocco di legno su cui poter realizzare due fori.

Una lunga descrizione dà tutte le informazioni che servono per realizzare i fori sul blocco di legno, che devono essere individuati seguendo regole proporzionali. Bisogna, cioè, disegnare su due facce opposte di un blocco di legno cubico rette mediane su cui tracciare, a distanza di circa 4 cm (2 dita) dal bordo circonferenze di raggio 2 cm (1 dito). Per una delle due facce inoltre bisogna suddividere il segmento che unisce i due centri delle circonferenze in parti non uguali. La parte più grande deve stare alla parte più piccola come la distanza tra i due muri sta allo spessore del cubo di legno. Nel punto di separazione tra i due segmenti devo disegnare una circonferenza uguale alle altre. I fori vanno praticati, in modo che uno di essi sia ortogonale ai lati (unendo due circonferenze vicine al bordo), mentre l'altro è obliquo (unendo una circonferenza al bordo con l'ultima tracciata, più interna).

Il blocco di legno va poi inserito all'interno del muro A con la faccia che possiede i fori più vicini rivolta verso la parete bianca B. Alhazen propone allo sperimentatore di mettersi dentro la camera e posizionare l'occhio da un lato del foro (quello con asse ortogonale) e mirare prima il punto esattamente di fronte (in precedenza individuato inserendo un'asta che termina a punta e dello stesso diametro del foro, nel foro stesso fino a toccare il muro bianco), e poi girando la pupilla e tralasciando i bordi del foro individuare la circonferenza massima oltre la quale egli non riesce a vedere più nulla del muro di fronte. Disegnata sul muro tale circonferenza bisogna poi spostarsi e mirare dal secondo foro inclinato,

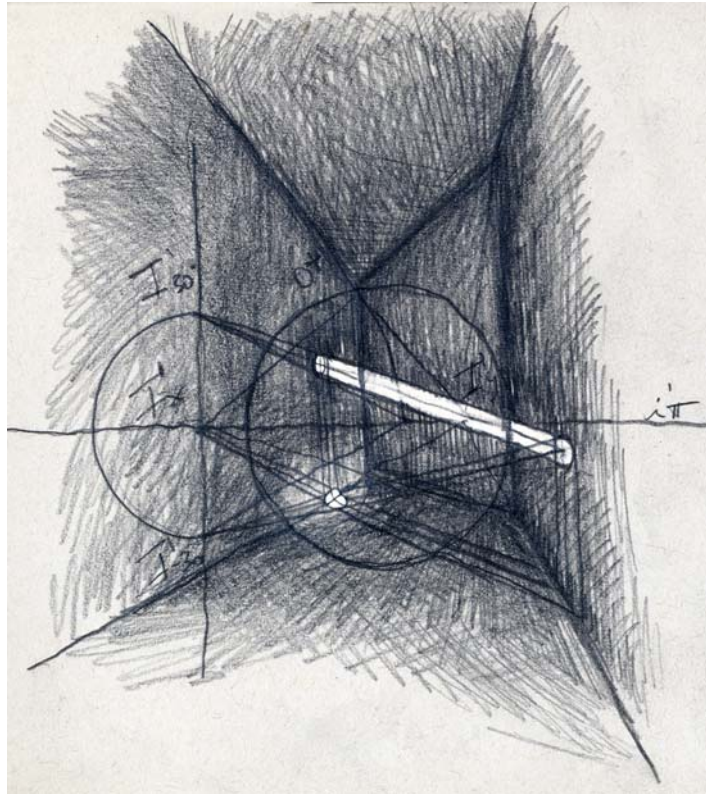
traguardando il muro si vede la stessa circonferenza. In realtà la soluzione geometrica è semplice perché si tratta di sezionare due coni con un piano, con l'unica accortezza che il primo cono è retto mentre il secondo ha asse inclinato, ma le altezze dei coni traguardano lo stesso punto (centro della circonferenza) e la sezione con il piano è sempre una circonferenza.



Il ricercatore deve ora sfondare la parete bianca esattamente in corrispondenza della circonferenza descritta su di essa. La bucatura così ottenuta può adesso essere coperta con un corpo opaco sempre bianco e uguale in forma e dimensioni alla circonferenza. A questo punto inizia la sperimentazione. Posizionarsi all'interno della camera oscura e chiudere il foro obliquo sul blocco di legno: la luce entra solo dal foro retto e un cerchio si proietta sulla parete opposta della camera, e il cerchio è l'immagine esatta, ma scalata, di quello precedentemente disegnato sul muro. Alhazen lo dimostra proponendo al lettore di togliere il corpo opaco posto sul muro bianco: l'immagine circolare scompare all'interno della camera perché non c'è più nulla che irradia luce dall'altra parte del foro. Infatti, rimettendo il corpo opaco nella sua posizione automaticamente il cerchio appare di nuovo. Questo conferma naturalmente il fatto che i raggi luminosi si propagano in maniera rettilinea. L'esperienza può essere ripetuta anche per il foro obliquo, e si otterranno le stesse conclusioni.

Si può verificare una prima caratteristica: all'interno della camera oscura posizioniamo un corpo opaco tra il foro e la parete opposta e l'immagine scomparirà su di essa per comparire sulla superficie interposta. Più ci posizioniamo vicini al foro più l'immagine sarà luminosa, mentre se ci allontaniamo l'immagine diventa più debole. Verificando questa particolarità Alhazen immagina che i raggi luminosi diventano più deboli con la distanza? Questo

avviene per le sorgenti di luce diretta in maniera meno evidente, mentre è più evidente per i raggi riflessi, come in questo esperimento.



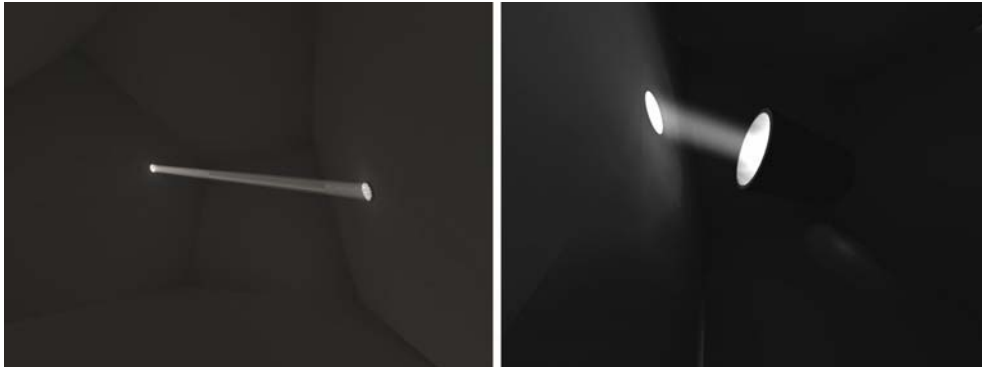
Se infine apriamo entrambe i fori del blocco di legno, otteniamo all'interno della camera oscura, due immagini del muro bianco esterno. Se i raggi luminosi avessero un'unica direzione questo non sarebbe naturalmente possibile. Alhazen conclude quindi che i corpi riflettono, da ognuno dei loro punti, i raggi in tutte le direzioni, e questo concetto è ripreso anche nella teoria della visione di Alhazen, con la particolarità che solo i raggi perpendicolari alla pupilla penetrano nell'occhio e formano l'immagine.

Così ad ogni foro prodotto nel blocco di legno corrisponde un'immagine del muro bianco all'interno della camera oscura.

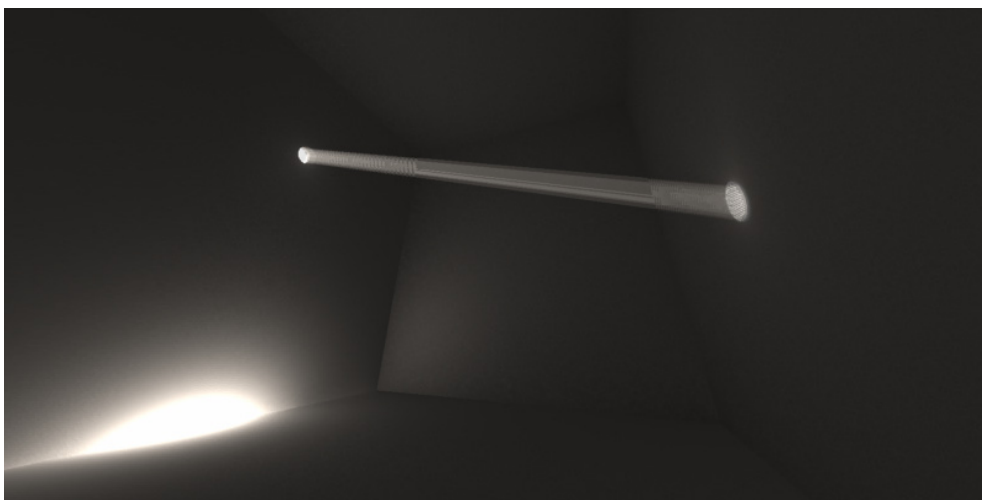
Alhazen, a questo punto, fa una distinzione tra le luci primarie e quelle secondarie, differenziando le prime che sono auto-illuminanti, dalle seconde che invece emettono luce non propria, anche se tale sistema non è assimilabile alla riflessione la quale, dice Alhazen, è caratteristica dei corpi lucidi. La riflessione avviene secondo angoli uguali a quelli d'incidenza della luce, invece abbiamo visto che il muro riflette i raggi in tutte le direzioni come una luce vera e propria.

L'esperimento per dimostrare questa classificazione prosegue nel modo seguente: questa volta bisogna avere a disposizione una camera oscura con un foro abbastanza grande da permettere l'ingresso della luce. Ci accorgiamo che sebbene il foro sia piccolo e che la parte illuminata sia solo sul lato opposto del foro, in realtà la stanza ci risulta visibile nelle

sue caratteristiche formali (superfici ed angoli). Supponiamo ora di prendere una tazza e di interporla tra il foro e l'immagine sul muro: il fascio di luce viene "inghiottito" dalla tazza, e il resto della stanza torna ad essere oscuro (forse ad eccezione di una parte della stanza opposta alla tazza stessa). Togliendo la tazza, nessun oggetto intercetta la luce, e la camera torna ad essere di nuovo visibile.



Possiamo ripetere l'esperimento con altri oggetti, questa volta luminosi: ad esempio un foglio d'argento ben lucidato. Esso deve avere la stessa forma e dimensione della luce del sole proiettata sul muro all'interno della camera oscura; posizionandolo sopra la parte illuminata, automaticamente si crea un'ulteriore immagine, risultato della riflessione della luce da parte del foglio d'argento. Si può provare poi a verificare cosa accade nella stanza sostituendo il foglio di lucido, con un corpo opaco bianco ed infine con un corpo nero. Nel secondo caso, ci accorgeremo che la luce all'interno della camera oscura è lievemente aumentata, ma non c'è più la luce riflessa sul muro opposto generata invece dal corpo lucido del primo esperimento. Nel terzo caso invece l'osservatore si renderà conto che la luce interna globale della camera diminuisce, causata dalla bassa capacità del corpo nero di generare luce e quindi di illuminare l'interno.



È evidente che la luce che appare in tutte le parti della stanza è una luce secondaria emanata dalla luce accidentale che colpisce la superficie interna della camera oscura e proveniente dall'esterno (luce solare), e inoltre che la radiazione luminosa su tutte le parti della camera stessa non è dovuta alla riflessione propriamente detta.

Naturalmente la luce s'irradia dalle luci accidentali sempre in maniera rettilinea verso tutti i lati ad essa opposti, nello stesso modo che per le luci essenziali, e questa radiazione non è necessariamente una riflessione.

Anche dalle parti più piccole, di qualsiasi dimensione, delle luci accidentali, la luce si irradia in ogni direzione, anche se risulta difficile esaminare queste singole parti individualmente visto anche che la luce da loro prodotta è impercettibile. Ma esse sono della stessa natura, e le differenze dimensionali si trasformano in differenze di quantità e non di qualità. Il problema sta nel fatto che i sensi umani non riescono a percepire ciò che è estremamente debole e piccolo.

La luce riflessa s'irradia anch'essa in direzione retta, fatto facilmente dimostrabile interponendo tra il corpo lucido (foglio d'argento) e la luce riflessa da esso, un corpo opaco. Esso intercetta i raggi riflessi, e l'immagine luminosa compare su di esso per poi ricomparire sul muro se lo togliamo dal fascio. In modo analogo possiamo operare utilizzando un piccolo corpo opaco: esso oscurerà solo una piccola porzione di luce riflessa (che si visualizzerà su di esso) lasciando sul muro un anello luminoso, come se ci trovassimo di fronte ad una piccola eclissi sui generis.

La grande opera di Alhazen si pone come elemento di congiunzione tra i secoli della grande produzione del modo greco e lo sviluppo di un rinnovato interesse per le questioni di ottica che si ritroverà nei secoli successivi, a partire dal XIII sec., massima testimonianza di una cultura araba erede volontaria delle conoscenze classiche, sviluppatasi proprio in quei secoli in cui la produzione scientifica in occidente era scarsa. Alhazen riprendendo i temi di ottica, diottrica e catottrica antiche, con numerose e nuove sperimentazioni, scrive un testo largamente studiato e richiamato, sia dalla scuola di Oxford tra la fine del XII sec. e l'inizio del XIV sec. con l'opera di Robert Grosseteste, Roger Bacon, Johannes Peckham, sia dalla scuola italiana con il monaco salesiano Witelo (Vitellione, 1220/20 – 1300/1314). Nei secoli successivi la graduale codifica della scienza prospettica catalizzò tutto l'interesse degli scienziati, e le teorie della visione e della luce non ebbero ulteriori sviluppi. Il testo di Alhazen, comunque noto negli ambienti scientifici, venne tradotto in latino solo nel 1572 da Federico Risner, sebbene gli interessi per gli aspetti foto-ottici ripresero già con Francesco Mauriloco (1494–1575) e il suo *Photismi de lumine et umbra ad perspectivam et radiorum incidentiam facientes* del 1521. Seguirono gli studi di Johann Kepler (1571–1630) e di René Descartes (1596–1650) sulla teoria corpuscolare della luce (già in realtà accennata da Witelo) perfezionata poi da Isaac Newton (1642–1727), a cui si oppose Christian Huygens (1629 – 1695) con la sua teoria ondulatoria. Solo alla fine del XIX secolo James Clark Maxwell iniziò i suoi studi sulla teoria che rivoluzionò le conoscenze dell'ottica ipotizzando la natura elettromagnetica dei raggi luminosi e teorizzando così quella che venne definita la teoria elettromagnetica basata sulle radiazioni.

Arrivando ai nostri giorni, le teorie citate le possiamo ritrovare come base scientifica degli algoritmi della computer grafica. Ad esempio mentre Alhazen parla di riflessione speculare o di riflessione diffusiva, noi trattiamo l'algoritmo di Phong e quello di Lambert. Le sorgenti di luce secondarie altro non sono che delle superfici lambertiane, mentre l'interno della camera oscura non è completamente ottenebrata grazie alla luce ambiente che ne attenua i contrasti. La stessa teoria della visione, sembra essere esempio per il calcolo ray tracing nelle moderne tecniche di renderizzazione, sebbene la teoria di riferimento sia

quella estromissiva: le discussioni di secoli e secoli sulla legittimità della teoria intromissiva a fronte di quella estromissiva non hanno più senso nella realtà virtuale, dove per semplicità di calcolo nel metodo ray tracing, i raggi escono dall'occhio e colpiscono gli oggetti, riflettendosi e rifrangendosi per poi arrivare alle sorgenti di luce.

Al di là delle possibili similitudini, la questione veramente importante è che l'evoluzione di questa scienza della visione sia alla base delle nuove tecnologie soprattutto nel nostro campo dove la componente tecnologica deve essere strumento della storia, per capire, studiare e indagare, ma soprattutto nelle moderne teorie che essendo recenti e in evoluzione necessitano confutazioni e sperimentazioni continue per essere affinate e avvallate proprio attraverso lo studio dei testi antichi per mezzo dello stesso strumento informatico. A tal fine una collaborazione fortemente interdisciplinare tra studiosi di storia della scienza e informatici, grafici, eidomatici, architetti e ingegneri, ognuno con le proprie e legittime competenze, può garantire lo sviluppo nella ricerca in questo settore.

Bibliografia

1. **Alhazen Ibn al Haitham, Abu Ali Mohammed** (965 – 1039), *Ottica*, tradotta in latino verso il 1165 da Gherardo da Cremona, stampata per la prima volta in Basilea nel 1572 a cura di Friedrik Risher. Traduzione italiana inedita, verso 1341, a cura di Guerruccio di Cione Federighi, dal *De Aspectibus*.
2. ALHAZEN ARABIS LIBRI SEPTEM DE ASPECTIBUS, *Opticae Thesaurus, omnes instaurati, figuris illustrati & aucti, adiectis etiam in Alhazenum commenarijs a' FEDERICO RISNERO*. Basileae, per Episcopios, 1572.
3. **Sabra, A. I.**, *The Optics of Ibn Al – Haytham*, Books I – III on Direct Vision, translated with Introduction and Commentary by A. I. Sabra, Harvard University, London 1989.
4. **Ronchi, Vasco**, *Sul contributo di Ibn – al – Haitham alle teorie della visione e della luce*, in Atti del VII Congresso internazionale di Storia delle Scienze, Gerusalemme, agosto 1953, pp. 516 – 521.
5. **Lindberg, David L.**, *Theories of Vision from Al – Kindi to Kepler*, Chicago 1976, pp. 58 – 89 e 239 – 246.
6. **Zajonc, Arthur**, *Catching the Light, the Entwined History of Light and Mind*, Oxford University Press 1993, pp. 29 – 32.

Realizzazione di misure colorimetriche in programmi di conservazione e restauro

**BURRAFATO G., DE VINCOLIS R., GUELI A.M., LAHAYE C., OCCHIPINTI
A., STELLA G., TROJA S.O., ZUCCARELLO A.R.**

LDL&BBCC (LABORATORIO DI DATAZIONE TRAMITE LUMINESCENZA E DI
METODOLOGIE FISICHE APPLICATE AI BENI CULTURALI)

DIPARTIMENTO DI FISICA E ASTRONOMIA DELL'UNIVERSITÀ DI CATANIA & INFN
SEZIONE DI CATANIA & CSFNSM (CENTRO SICILIANO DI FISICA NUCLEARE E
STRUTTURA DELLA MATERIA)

Via Santa Sofia 64 – 95123 Catania, Tel. 095 3785354, Fax: 095 3785258
Anna.Gueli@ct.infn.it, Giuseppe.Stella@ct.infn.it

E

CRIBECUM (CENTRO DI RICERCHE SULLE CAUSE DI DEGRADO E RECUPERO PER I
BENI CULTURALI E MONUMENTALI)

UNIVERSITÀ DI CATANIA
Corso Italia 57 - 95129 Catania

SCARIOLO M.G.

RESTAURATRICE

Via Elorina 164 - 96100 Siracusa

1 - Introduzione

Nell'ambito di collaborazioni tra il laboratorio LDL&BBCC (Laboratorio di Datazione tramite Luminescenza e di Metodologie Fisiche applicate ai Beni Culturali) del Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Catania ed istituzioni quali Musei, Gallerie, Pinacoteche e specialisti di vari settori, primi fra tutti i restauratori, vengono pianificate e realizzate campagne di misure colorimetriche su opere policrome, soprattutto dipinti. L'esperienza, acquisita in questo ambito dai ricercatori del laboratorio, ha permesso di evidenziare la criticità di alcune fasi necessarie per la realizzazione di misure di colore nell'ambito di programmi di conservazione e di restauro di opere di interesse storico-artistico.

La determinazione del colore nell'ambito dei programmi di conservazione e di restauro di stesure pittoriche prevede la realizzazione delle misure a diversi intervalli di tempo per evidenziare ogni eventuale variazione cromatica che comprometterebbe lo stato dell'opera e quindi la sua fruizione. Nel caso della conservazione, in particolare, le misure vengono effettuate ad intervalli di tempo inversamente proporzionali al valore dell'opera, mentre il programma di restauro prevede una misura prima ed una dopo l'intervento sul dipinto. Oltre ad assicurare che le misure vengano realizzate sempre sugli stessi punti, scelti normalmente in corrispondenza di zone di tinte differenti (*check points*), è di fondamentale importanza che siano mantenute le stesse condizioni sperimentali nell'esecuzione

delle varie misure. L'individuazione dei *check points* negli interventi successivi al primo è assicurata dall'utilizzazione del protocollo di misura messo a punto al Laboratorio LDL&BBCC [1] ed ormai ampiamente verificato sul campo.

In considerazione del fatto che le misure possono essere realizzate anche da operatori differenti e non sempre negli stessi ambienti e quindi con le stesse condizioni al contorno, è necessario individuare tutti i parametri sperimentali che devono essere mantenuti esattamente gli stessi in tutte le sessioni di misura. È inoltre assolutamente indispensabile disporre di tutte le informazioni riguardanti ogni fase della misura con particolare riferimento alle fasi preliminari di calibrazione. A questo scopo sono state realizzate una serie di misure atte all'individuazione dell'influenza di alcuni dei parametri che maggiormente possono variare nel corso dell'applicazione delle misure colorimetriche nelle diverse fasi ed in particolare sull'influenza delle condizioni ambientali di illuminamento e delle diverse procedure di calibrazione possibili per la luminosità. I risultati ottenuti nel corso delle misure che verranno descritte, oltre ad aver permesso di quantificare le variazioni delle coordinate cromatiche attribuibili alle eventuali differenze delle condizioni di illuminamento dell'ambiente esterno e/o all'applicazione di differenti procedure di calibrazione, hanno permesso la predisposizione di opportune schede che prevedono l'annotazione da parte dell'operatore di tutti i parametri e di tutte le condizioni sperimentali. A titolo di esempio vengono illustrate alcune misure realizzate nell'ambito di un reale programma di diagnostica, riguardante un dipinto del XVIII secolo, realizzato in collaborazione tra i ricercatori del laboratorio LDL e la restauratrice incaricata della realizzazione dell'intervento sull'opera.

2 – Influenza delle condizioni di illuminamento

Durante le varie fasi diagnostiche previste dai programmi di conservazione e di restauro, le condizioni di illuminamento dell'ambiente di lavoro sono nella maggior parte dei casi differenti. Per investigare sull'eventuale influenza di tale variazione sulla determinazione delle coordinate cromatiche, sono state realizzate delle misure spettrofotometriche utilizzando diverse sorgenti luminose su standard certificati. Il primo passo ha riguardato la caratterizzazione delle sorgenti a disposizione attraverso misure radiometriche che hanno consentito, oltre alla determinazione del loro spettro di emissione, di individuare la corrispondenza tra il codice commerciale delle stesse e gli illuminanti standard CIE. Sono quindi state eseguite, per ognuna delle sorgenti, le misure delle coordinate cromatiche L^* , a^* e b^* su ognuno degli standard e, come meglio verrà descritto nel seguito, è stata valutata l'influenza su di esse della sorgente luminosa.

2.1 – Le sorgenti luminose

Per l'illuminazione dei campioni standard sono state utilizzate le lampade a scarica e ad incandescenza allocate nella parte superiore di una cabina luce (VeriVide CAC60) rivestita al suo interno in modo da attenuare la riflessione diffusa generata dal flusso luminoso emesso dalle sorgenti. La selezione del tipo di illuminante e le fasi di accensione e di spegnimento, vengono effettuate attraverso la tastiera di comando posta sul pannello frontale. È possibile scegliere tra cinque diversi illuminanti indicati con le sigle D65, TL840, CWF, UV ed F. Tali sorgenti (ad eccezione di quella UV) sono state caratterizzate con uno spettroradiometro (Minolta CS-1000A) per ottenere la temperatura di colore e lo spettro di emissione di ognuna di esse [2]. Le misure realizzate hanno permesso di associare il codice di ogni lampada della cabina luce con le sigle dei corrispondenti illuminanti standard CIE come riportato nella tabella seguente (Tab.1).

Tab.1 – Associazione delle sorgenti a disposizione nella cabina luce con gli illuminanti standard CIE attraverso la determinazione sperimentale della temperatura di colore e dello spettro di emissione

Sorgente cabina luce	T_c sperimentale	Illuminante corrispondente	T_c teorica	Caratteristica della sorgente
D65	6678 K	D65	6500 K	Daylight fluorescent
TL840	3977 K	F11	4100 K	White fluorescent
CWF	3716 K	F2	3500 K	Cool white
F	2618 K	A	2856 K	Lampada incandescenza

2.2 – Standard di riflettanza certificati

Le misure di colore al variare delle condizioni esterne di illuminamento, parametro spesso variabile nell'esecuzione delle varie fasi dei programmi di conservazione e di restauro, sono state realizzate su standard di colore certificati Spectralon® [3,4] dei quali sono forniti i dati colorimetrici in accordo con le raccomandazioni della CIE del 1986 [5]. Per ognuno degli standard sono state misurate la curva di riflettanza spettrale (riflettanza % in funzione della lunghezza d'onda) e le coordinate colorimetriche L*, a* e b* con uno spettrofotometro portatile (Minolta CM 2600d) [6]. Per poter valutare l'influenza delle varie sorgenti su tali dati sperimentali, le misure sono state realizzate mantenendo sempre le stesse condizioni sperimentali indicate nei certificati di calibrazione fornite dal produttore [4]. Le misure sono state realizzate su tutta la serie di standard disponibili (tre set da 12) ma verranno qui riportati i risultati ottenuti su quelli corrispondenti alle tinte maggiormente interessate dalle tecniche diagnostiche riguardanti dipinti e superfici policrome di interesse nel campo dei Beni Culturali: rosso, verde, ciano e giallo (Tab.2).

Tab.2– Codici identificativi degli standard Spectralon® sottoposti a misure

STANDARD	ID NUMBER	COLOR
rosso	SCS-RD-010	Red
verde	SCS-GN-010	Green
ciano	SCS-CY-010	Cyan
giallo	SCS-YW-010	Yellow

2.3 – Misure colorimetriche sugli standard

Le misure su ognuno degli standard sono state effettuate, utilizzando il protocollo messo a punto nel laboratorio LDL&BBCC [1], in modalità SPIN (componente speculare inclusa) ed i risultati sono stati espressi come valori CIELAB, illuminante D65, osservatore standard 10°, condizioni di misura indicate nei certificati di calibrazione forniti dal produttore [4]. L'analisi dei dati ha riguardato l'andamento della riflettanza % in funzione della lunghezza d'onda e le coordinate colorimetriche L*, a* e b* (Tab.3). Per poter valutare l'influenza delle varie sorgenti sui dati sperimentali, l'attenzione è stata posta alle variazioni del ΔE^*_{ab} . Per ogni standard è stato considerato, come *target* la misura realizzata oscurando totalmente l'ambiente di lavoro (tutte le sorgenti della cabina luce spente), condizione indicata nella tabella 3 come "Illuminante Assente", e come *sample* le misure realizzate sullo stesso standard dentro la cabina luce con i vari illuminanti a disposizione precedentemente caratterizzati.

Tab.3 – Coordinate colorimetriche CIELAB misurate al variare delle condizioni di illuminamento dell'ambiente di lavoro sugli standard Spectralon® rosso, verde, ciano e giallo e relative deviazioni standard del ΔE^*_{ab} ottenute considerando come target la misurazione eseguita senza alcuna sorgente luminosa esterna

Standard Rosso					
	Illuminante	L*	a*	b*	ΔE^*_{ab}
Target	Assente	60,06	-4,54	-40,47	-
	D65	60,07	-4,56	-40,45	0,03
	F11	60,07	-4,57	-40,45	0,04
	F2	60,06	-4,55	-40,46	0,02
	A	60,06	-4,57	-40,45	0,04
Standard Verde					
	Illuminante	L*	a*	b*	ΔE^*_{ab}
Target	Assente	64,48	-29,11	16,87	-
	D65	64,47	-29,09	16,88	0,03
	F11	64,46	-29,10	16,89	0,03
	F2	64,47	-29,11	16,87	0,01
	A	64,48	-29,12	16,90	0,03

Segue Tab. 3

Standard Ciano					
	illuminante	L*	a*	b*	ΔE^*_{ab}
Target	Assente	60,06	-4,54	-40,47	-
	D65	60,08	-4,56	-40,46	0,03
	F11	60,08	-4,57	-40,45	0,04
	F2	60,07	-4,56	-40,46	0,02
	A	60,07	-4,57	-40,45	0,04
Standard Giallo					
	illuminante	L*	a*	b*	ΔE^*_{ab}
Target	Assente	87,34	8,58	73,46	-
	D65	87,34	8,59	73,49	0,03
	F11	87,34	8,58	73,48	0,02
	F2	87,34	8,59	73,46	0,01
	A	87,34	8,58	73,46	0,01

I risultati ottenuti sugli standard certificati, considerando la ripetibilità dei valori di cromaticità dello strumento, corrispondente ad una deviazione standard per il ΔE^*_{ab} entro 0,04 [6], non individuano nella presenza di illuminanti diversi in fase di misura nessuna responsabilità nella valutazione delle differenze cromatiche. Queste ultime possono essere riscontrate durante le fasi diagnostiche sulle stesure pittoriche a condizione che sia verificato il contatto ottico e che le misure siano effettuate sempre nelle stesse condizioni operative.

3 – Condizioni di calibrazione

Per esaminare l'influenza delle diverse modalità di calibrazione sui risultati, si sono calcolate le differenze di colore tra le misure realizzate sugli standard nelle varie modalità possibili per il massimo (calibrazione del bianco) ed il minimo (calibrazione del nero) della scala di luminosità. Sono state effettuate tre diverse modalità di calibrazione: modalità "white only" (W), realizzata utilizzando lo standard bianco allocato nella base dello strumento (CM-A145) e saltando la fase relativa alla calibrazione del nero, la modalità "black" (K), realizzata calibrando il bianco come nella modalità precedente e realizzando la calibrazione del nero con tre flash nel vuoto nell'ambiente di lavoro oscurato, la calibrazione "standard" (ST) utilizzando il bianco dei due casi precedenti ed il box opportunamente progettato per la calibrazione del nero (CM-A32) [7].

La tabella seguente (Tab.4) riporta i valori ottenuti sugli standard Spectralon® da misurazioni, nelle stesse condizioni operative, dopo la realizzazione della procedura di calibrazione nelle tre diverse modalità. Come si evince dai risultati, la diversa modalità di calibrazione influenza notevolmente la determinazione delle coordinate colorimetriche. Nei casi in cui è richiesta la ripetibilità a medio e lungo termine, come accade nella realizzazione delle fasi pre- e post- restauro o nelle fasi di controllo ripetute ad intervalli di tempo regolari per i programmi di conservazione, è di fondamentale importanza che la calibrazione della scala di

luminosità sia realizzata sempre nelle stesse condizioni per poter valutare correttamente eventuali variazioni cromatiche in corrispondenza dei *check points*.

Tab.4 – Coordinate colorimetriche CIELAB misurate al variare delle condizioni di calibrazione dello strumento sugli standard Spectralon® rosso, verde, ciano e giallo e relative deviazioni standard del ΔE^*_{ab} ottenute considerando come target la misurazione eseguita nella modalità di calibrazione standard (ST).

Standard Rosso					
	Calibrazione	L*	a*	b*	ΔE^*_{ab}
Target	ST	50,09	46,14	22,02	-
	W	49,60	47,18	22,78	1,38
	K	49,81	47,32	22,77	1,43
Standard Verde					
	Calibrazione	L*	a*	b*	ΔE^*_{ab}
Target	ST	64,48	-29,11	16,87	-
	W	63,70	-29,72	17,22	1,05
	K	63,24	-29,84	17,28	1,50
Standard Ciano					
	Calibrazione	L*	a*	b*	ΔE^*_{ab}
Target	ST	60,08	-4,54	-40,48	-
	W	59,74	-4,62	-40,67	0,40
	K	59,47	-4,64	-40,76	0,68
Standard Giallo					
	Calibrazione	L*	a*	b*	ΔE^*_{ab}
Target	ST	86,79	8,50	72,68	-
	W	86,82	8,62	73,48	0,81
	K	86,94	8,67	74,56	1,86

4 – Applicazione ad un caso reale

Un programma di diagnostica del colore è tuttora in corso su un dipinto del XVIII secolo, un olio su tela raffigurante San Tommaso e custodito presso la Chiesa dei Cappuccini di Modica (Fig.1).

Il generale allentamento della tela sul vecchio telaio ed il distacco di essa nella parte inferiore avevano causato sollevamenti della preparazione e cadute di colore soprattutto in corrispondenza della mano destra del Santo e in alto a destra. Un uniforme strato di gommalacca mista a nero-fumo ricopriva tutta la superficie pittorica, alterandone le cromie originali.

Allo scopo di monitorare eventuali variazioni cromatiche introdotte dagli interventi eseguiti, il programma di diagnostica è stato pianificato in modo da prevedere la realizzazione di misure colorimetriche puntuali nella fase di pre-restauro, prima di qualunque intervento, Fase 1, dopo la rintelatura e la pulitura, Fase 2, e quindi alla conclusione del restauro, Fase 3.

Dopo la velinatura con carta giapponese e colletta, per proteggerne la superficie pittorica durante le fasi del restauro, il dipinto è stato smontato dal vecchio telaio. Il tergo è stato pulito con l'ausilio del bisturi per rimuovere i depositi di sporco. La rintelatura è stata eseguita con pasta fiorentina su doppia tela di lino, successiva

stiratura della superficie e svelinatura con acqua calda. Il dipinto è stato poi montato su un nuovo telaio estensibile in abete. La pulitura è stata eseguita con solventi volatili e controllata a bisturi, ed ha consentito di rimuovere la gommalacca, la vernice ossidata, sporcizia e piccole ridipinture.



Fig. 1 – “San Tommaso”, olio su tela del XVIII secolo custodito presso la Chiesa dei Cappuccini di Modica (RG). L'immagine mostra a sinistra il posizionamento di alcune delle maschere utilizzate nel corso dell'intervento diagnostico e, a destra, il particolare di una di esse.

La tabella seguente (Tab.5) riporta i valori puntuali di L^* , a^* e b^* ottenuti sui *check points* selezionati sul dipinto, sia con componente speculare inclusa (SPIN) che con componente speculare esclusa (SPEX), nella Fase 1 del programma di diagnostica (prima di ogni intervento) e nella Fase 2 (dopo la rintelatura e pulitura). Per determinare eventuali variazioni cromatiche insieme ai valori di ΔE^*_{ab} sono state valutate anche le singole variazioni di L^* , a^* , b^* . Dalla tabella si evince che dopo la Fase 2, corrispondente alle operazioni di rintelatura e pulitura, le variazioni maggiori riguardano la coordinata L^* . Questo risultato è maggiormente evidente se si considera l'andamento delle variazioni delle coordinate cromatiche CIELAB riportato nel grafico successivo per ognuno dei *check points* (Fig.2). Tale risultato è sicuramente imputabile alla fase di pulitura che ha permesso la rimozione dello strato superficiale di gommalacca, di vernice ossidata, di sporcizia e di piccole ridipinture.

Tab.5 – Coordinate colorimetriche CIELAB misurate sui *check points* durante la Fase 1 (pre- restauro) e durante la Fase 2 (dopo rintelatura e pulitura) e valutazione delle variazioni cromatiche (dopo Fase 2).

Check point	Fase 1				Fase 2				Dopo Fase 2			
	Stato	L*	a*	b*	Stato	L*	a*	b*	ΔE^*	Δa^*	Δb^*	ΔL^*
red1_t	SPIN	39,11	20,38	15,04	SPIN	42,32	24,45	16,12	5,29	-4,06	-1,08	-3,21
	SPEX	38,89	20,52	15,17	SPEX	36,48	29,02	21,93	11,12	-8,50	-6,76	2,41
red2_t	SPIN	35,36	8,06	9,67	SPIN	38,69	9,67	9,61	3,70	-1,61	0,06	-3,33
	SPEX	35,23	8,13	9,71	SPEX	35,50	10,81	11,23	3,10	-2,69	-1,52	-0,27
red3_t	SPIN	38,55	18,69	14,22	SPIN	42,27	20,17	14,42	4,01	-1,48	-0,20	-3,73
	SPEX	38,20	18,91	14,35	SPEX	36,01	24,40	20,10	8,25	-5,49	-5,75	2,18
red4_t	SPIN	37,82	16,78	13,85	SPIN	41,26	18,94	14,46	4,11	-2,16	-0,61	-3,44
	SPEX	37,67	16,86	13,95	SPEX	37,21	21,44	17,65	5,91	-4,58	-3,70	0,46
red5_t	SPIN	37,62	16,60	13,94	SPIN	41,51	18,78	14,28	4,48	-2,19	-0,34	-3,89
	SPEX	37,47	16,70	13,95	SPEX	36,59	21,85	18,44	6,89	-5,15	-4,49	0,89
red6_t	SPIN	37,98	15,47	13,47	SPIN	41,22	16,26	12,58	3,44	-0,78	0,88	-3,24
	SPEX	37,88	15,55	13,51	SPEX	35,68	19,34	16,57	5,35	-3,79	-3,07	2,20
i7Y_t	SPIN	42,23	6,22	10,20	SPIN	46,92	6,97	8,52	5,04	-0,75	1,68	-4,70
	SPEX	42,07	6,29	10,25	SPEX	42,43	7,94	10,45	1,70	-1,65	-0,20	-0,37
b8_t	SPIN	55,18	1,89	8,20	SPIN	58,27	2,16	6,10	3,74	-0,27	2,10	-3,09
	SPEX	55,02	1,92	8,21	SPEX	54,97	2,38	6,94	1,35	-0,46	1,27	0,05
b9_t	SPIN	49,58	2,39	8,47	SPIN	55,57	2,47	5,79	6,56	-0,08	2,68	-5,99
	SPEX	49,30	2,43	8,51	SPEX	53,06	2,67	6,48	4,29	-0,24	2,04	-3,76
n10_t	SPIN	27,48	0,17	0,50	SPIN	28,22	0,22	-0,05	0,92	-0,04	0,55	-0,74
	SPEX	27,06	0,21	0,42	SPEX	17,47	0,26	0,73	9,59	-0,05	-0,31	9,59
n11_t	SPIN	25,62	0,29	0,40	SPIN	27,11	0,37	0,17	1,52	-0,09	0,24	-1,50
	SPEX	25,31	0,28	0,39	SPEX	13,64	0,63	1,45	11,73	-0,35	-1,05	11,67
i12y_t	SPIN	48,57	7,07	10,56	SPIN	52,78	7,72	8,81	4,60	-0,65	1,75	-4,21
	SPEX	48,44	7,10	10,61	SPEX	48,62	8,62	10,38	1,54	-1,52	0,23	-0,18
b13_t	SPIN	36,55	2,75	5,58	SPIN	45,50	3,18	5,11	8,98	-0,43	0,47	-8,96
	SPEX	36,05	2,80	5,60	SPEX	41,32	3,59	6,23	5,36	-0,79	-0,63	-5,27
n14_t	SPIN	24,11	0,47	0,61	SPIN	27,39	0,39	0,07	3,33	0,07	0,54	-3,28
	SPEX	23,73	0,49	0,62	SPEX	15,24	0,71	1,08	8,50	-0,22	-0,46	8,48
b15_t	SPIN	43,82	3,69	7,39	SPIN	48,07	3,76	5,42	4,69	-0,07	1,98	-4,25
	SPEX	43,66	3,72	7,41	SPEX	42,46	4,47	7,02	1,47	-0,75	0,39	1,20
red17_t	SPIN	46,21	9,05	12,06	SPIN	50,60	9,32	11,26	4,47	-0,27	0,80	-4,39
	SPEX	46,05	9,09	12,09	SPEX	45,28	10,79	14,04	2,70	-1,71	-1,95	0,77
red18_t	SPIN	37,50	9,73	11,22	SPIN	44,28	10,59	10,72	6,86	-0,86	0,50	-6,78
	SPEX	37,38	9,79	11,23	SPEX	39,31	12,35	13,48	3,92	-2,56	-2,26	-1,93
y19_t	SPIN	39,54	9,12	15,45	SPIN	42,81	9,87	15,88	3,39	-0,75	-0,43	-3,27
	SPEX	39,46	9,16	15,54	SPEX	37,46	11,75	20,94	6,31	-2,59	-5,40	1,99
y20_t	SPIN	39,25	10,48	15,03	SPIN	42,36	11,93	15,76	3,51	-1,45	-0,73	-3,11
	SPEX	39,19	10,55	15,09	SPEX	35,92	14,69	22,56	9,15	-4,15	-7,47	3,27
y21_t	SPIN	38,69	9,52	15,79	SPIN	43,30	10,64	16,21	4,77	-1,12	-0,42	-4,62
	SPEX	38,59	9,58	15,86	SPEX	37,46	12,81	22,06	7,08	-3,23	-6,19	1,13
y22_t	SPIN	39,95	9,78	15,96	SPIN	44,18	10,99	16,51	4,43	-1,21	-0,55	-4,23
	SPEX	39,86	9,85	16,03	SPEX	38,16	13,27	22,68	7,66	-3,42	-6,65	1,69

Segue Tab. 5

Check point	Fase 1				Fase 2				Dopo Fase 2			
	Stato	L*	a*	b*	Stato	L*	a*	b*	ΔE^*	Δa^*	Δb^*	ΔL^*
y23_t	SPIN	48,52	6,01	10,32	SPIN	55,13	6,59	8,88	6,79	-0,58	1,44	-6,61
	SPEX	48,30	6,05	10,33	SPEX	50,58	7,43	10,50	2,67	-1,38	-0,17	-2,28
y24_t	SPIN	36,93	7,81	13,13	SPIN	39,18	8,53	12,40	2,47	-0,72	0,73	-2,25
	SPEX	36,84	7,88	13,16	SPEX	33,69	10,31	16,72	5,34	-2,43	-3,56	3,15
y25_t	SPIN	36,72	8,81	13,16	SPIN	38,85	9,50	13,06	2,24	-0,69	0,10	-2,13
	SPEX	36,59	8,90	13,21	SPEX	31,66	12,24	19,78	8,87	-3,34	-6,57	4,93
b26_t	SPIN	45,96	3,28	7,04	SPIN	49,74	3,23	4,67	4,46	0,05	2,37	-3,78
	SPEX	45,85	3,31	7,06	SPEX	44,45	3,78	6,00	1,82	-0,47	1,05	1,40
b27_t	SPIN	38,40	7,86	9,52	SPIN	39,70	7,62	7,87	2,12	0,24	1,65	-1,30
	SPEX	38,33	7,88	9,54	SPEX	31,35	10,25	12,32	7,88	-2,37	-2,78	6,98
n28_t	SPIN	34,28	3,24	7,10	SPIN	37,34	3,38	6,18	3,19	-0,14	0,92	-3,05
	SPEX	34,17	3,29	7,11	SPEX	29,53	4,55	9,42	5,34	-1,26	-2,30	4,64
n29_t	SPIN	25,03	2,51	2,51	SPIN	28,51	3,00	1,97	3,55	-0,49	0,55	-3,48
	SPEX	25,00	2,51	2,54	SPEX	13,55	6,38	6,71	12,78	-3,87	-4,18	11,45
n30_t	SPIN	25,47	2,51	2,60	SPIN	28,10	2,53	1,66	2,79	-0,02	0,94	-2,63
	SPEX	25,43	2,54	2,58	SPEX	14,16	5,21	5,00	11,84	-2,68	-2,42	11,28
red31_t	SPIN	35,90	10,32	10,18	SPIN	39,83	11,62	8,80	4,37	-1,31	1,37	-3,93
	SPEX	35,85	10,36	10,21	SPEX	32,93	14,65	12,74	5,78	-4,29	-2,53	2,92
red32_t	SPIN	33,51	8,63	8,27	SPIN	35,25	11,89	9,20	3,81	-3,26	-0,93	-1,74
	SPEX	33,41	8,68	8,31	SPEX	25,85	16,92	16,55	13,89	-8,24	-8,25	7,56
n33_t	SPIN	26,97	0,38	0,88	SPIN	28,46	0,38	0,31	1,60	0,00	0,57	-1,49
	SPEX	26,77	0,41	0,87	SPEX	14,29	0,70	2,05	12,54	-0,30	-1,17	12,48
n34_t	SPIN	26,83	0,46	1,15	SPIN	28,25	0,69	0,73	1,50	-0,23	0,42	-1,42
	SPEX	26,61	0,52	1,10	SPEX	16,71	1,18	2,35	10,00	-0,66	-1,25	9,90
m35_t	SPIN	34,48	3,18	5,30	SPIN	34,76	4,54	5,10	1,40	-1,36	0,20	-0,28
	SPEX	34,27	3,23	5,31	SPEX	28,65	5,80	7,17	6,46	-2,57	-1,86	5,63
m36_t	SPIN	32,64	3,42	5,37	SPIN	33,53	3,68	4,83	1,07	-0,26	0,54	-0,88
	SPEX	32,52	3,46	5,43	SPEX	25,01	5,20	8,33	8,23	-1,75	-2,90	7,51
b37_t	SPIN	48,90	2,55	7,48	SPIN	54,26	2,54	5,55	5,70	0,01	1,93	-5,36
	SPEX	48,84	2,55	7,54	SPEX	51,15	2,78	6,25	2,65	-0,24	1,28	-2,31
m38_t	SPIN	33,10	3,03	6,65	SPIN	36,61	3,11	4,77	3,97	-0,08	1,88	-3,50
	SPEX	33,04	3,05	6,72	SPEX	28,39	4,25	7,79	4,92	-1,20	-1,07	4,65
y39_t	SPIN	38,72	4,71	9,73	SPIN	42,91	4,72	7,85	4,60	-0,02	1,88	-4,19
	SPEX	38,60	4,75	9,74	SPEX	37,94	5,56	9,95	1,07	-0,81	-0,22	0,67
y40_t	SPIN	41,46	8,12	16,87	SPIN	43,55	9,33	17,67	2,55	-1,21	-0,80	-2,10
	SPEX	41,30	8,18	17,03	SPEX	38,80	10,87	22,53	6,61	-2,69	-5,50	2,50
b41_t	SPIN	52,89	1,93	10,52	SPIN	56,83	1,89	7,55	4,93	0,04	2,97	-3,93
	SPEX	52,74	1,98	10,56	SPEX	53,16	2,07	8,76	1,85	-0,09	1,80	-0,42
y42_t	SPIN	49,71	2,67	11,69	SPIN	52,45	2,48	11,38	2,76	0,19	0,31	-2,73
	SPEX	49,53	2,68	11,79	SPEX	47,85	2,82	13,66	2,52	-0,14	-1,87	1,68
y43_t	SPIN	51,22	6,60	20,44	SPIN	55,27	6,42	20,82	4,07	0,17	-0,38	-4,05
	SPEX	51,13	6,61	20,55	SPEX	51,17	7,14	24,64	4,12	-0,53	-4,09	-0,03
l44_t	SPIN	42,90	9,15	10,73	SPIN	45,66	10,11	10,08	2,99	-0,96	0,65	-2,75
	SPEX	42,79	9,18	10,78	SPEX	41,25	11,55	12,35	3,24	-2,37	-1,57	1,54

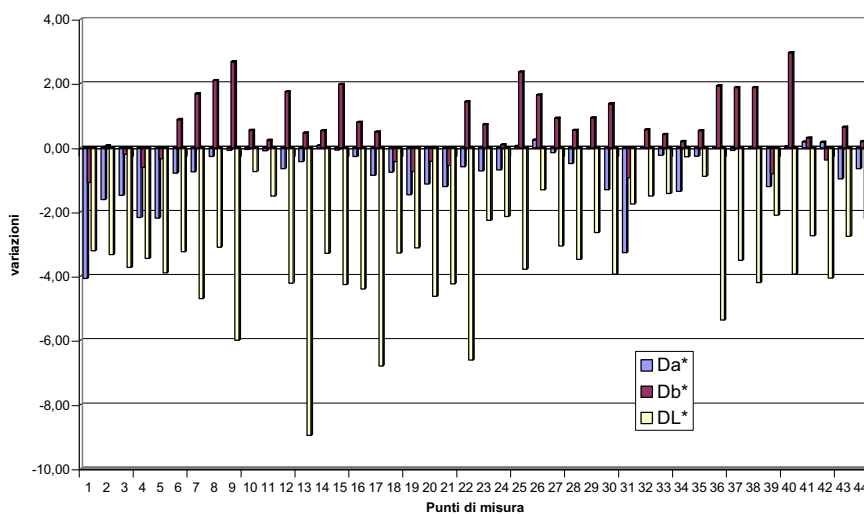


Fig. 2 – Variazioni delle coordinate cromatiche $L^*a^*b^*$

Particolare attenzione è stata posta alle eventuali variazioni sul piano cromatico dovute al primo intervento sul dipinto del restauratore. Il grafico seguente riporta, a titolo di esempio, il confronto tra le coordinate cromatiche a^* e b^* determinate sui *check points* individuati in corrispondenza di stesure rosse, per entrambe le fasi diagnostiche. L'andamento evidenziato mostra che l'intervento finora realizzato dal restauratore non ha comportato sostanziali modifiche cromatiche.

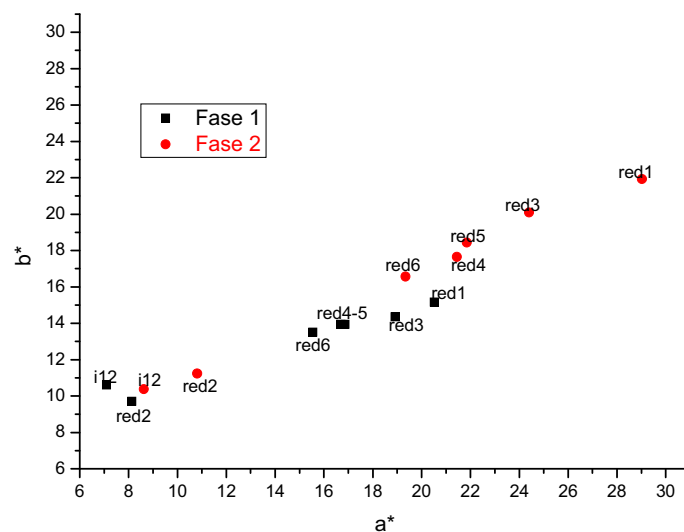


Fig.3 – Confronto tra le coordinate cromatiche a^* e b^* determinate durante la Fase 1 e la Fase 2 dell'intervento diagnostico su alcuni dei *check points* delle stesure rosse

5 – Conclusioni

I risultati ottenuti nel corso delle misure prima presentate hanno permesso di concludere che affinché sia assicurata la necessaria ripetibilità, oltre a specificare le modalità di misura delle coordinate colorimetriche, è necessario precisare la procedura di calibrazione eseguita. Ciò diventa ancora più importante qualora varino l'operatore e/o l'ambiente di lavoro. Tale dato deve quindi essere riportato nelle schede operative alla stessa stregua delle condizioni di misura (SPIN, SPEX,...) ed espressione dei dati (CIELAB, D65, 10°,...). Altra conclusione importante riguarda l'evidenza sperimentale della non influenza sulle determinazioni cromatiche dell'illuminazione dell'ambiente esterno. Nelle stesse condizioni sperimentali ed operative, a condizione che sia assicurato il contatto ottico, la ripetibilità delle misurazioni, a medio e a lungo termine, è garantita entro l'errore strumentale anche in ambienti diversi.

Entrambi i risultati ottenuti sono di fondamentale importanza per le applicazioni, come quella riportata a titolo di esempio riguardo al programma di diagnostica nell'ambito del restauro di un dipinto del XVIII secolo. Tutte le fasi pre e durante tutti gli interventi finora realizzati sono state effettuate nel laboratorio incaricato del restauro. A restauro ultimato la diagnosi verrà realizzata nello stesso laboratorio e nel luogo di origine, la Chiesa dei Cappuccini di Modica (RG) nella quale il dipinto tornerà per la fruizione. Questa ultima fase di misura coinciderà con lo *start* del programma di conservazione già pianificato.

Bibliografia

1. Burrafato G., Cerantonio V., Gueli A.M., Lahaye C., Stella G., Troja S.O., Zuccarello A. R., 2005 - "Misure colorimetriche su stesure pittoriche: messa a punto di un protocollo di misura" – Atti della Prima Conferenza Nazionale del Gruppo del Colore, Pescara 20-21 Ottobre 2005, 208-215
2. Mincella F., La radiometria nei Beni Culturali, Tesi di laurea Università degli Studi di Catania, Facoltà di Scienze, CdL in Tecnologie Applicate alla Conservazione e al Restauro dei Beni Culturali, A.A. 2004-2004
3. Labsphere® Company, 2004, Spectralon® Care and Handling Guidelines, P.O. Box 70 North Sutton, N.H. 03260 USA
4. Labsphere® Company, 2004, Calibration Certificate 41245, P.O. Box 70 North Sutton, N.H. 03260 US
5. Oleari C., Misurare il colore – Spettrofotometria, fotometria e colorimetria – Fisiologia e percezione, Hoepli, 1998.
6. Minolta, Manuale d'uso e specifiche tecniche dello spettrofotometro CM2600d
7. La Braca G., Le sorgenti luminose nella misura del colore, Tesi di laurea Università degli Studi di Catania, Facoltà di Scienze, CdL in Tecnologie Applicate alla Conservazione e al Restauro dei Beni Culturali, A.A. 2004-2005

Indagine colorimetrica per la pulitura di due statue di epoca romana recentemente rinvenute ad Agrigento

GIOVANNI BRUNO, FERNANDA PRESTILEO

LABORATORIO DI FISICA ED AMBIENTALISTICA DEGLI INTERNI,
CENTRO REGIONALE PER LA PROGETTAZIONE E IL RESTAURO, REGIONE SICILIANA
Via C. Colombo, 52 – 90146 Palermo, Tel. 091 6398607, Fax: 091 6376088
giovanni.bruno@centrorestauro.sicilia.it;
fernanda.prestileo@centrorestauro.sicilia.it

COSIMO DI STEFANO, MARIA GRAZIA CICERO

LABORATORIO DI CHIMICA,
CENTRO REGIONALE PER LA PROGETTAZIONE E IL RESTAURO, REGIONE SICILIANA
Via C. Colombo, 52 – 90146 Palermo, Tel. 091 6398630, Fax: 091 6376088
crpr.uo5@regione.sicilia.it

LORELLA PELLEGRINO

LABORATORIO DI RESTAURO DEI MANUFATTI DI ORIGINE INORGANICA,
CENTRO REGIONALE PER LA PROGETTAZIONE E IL RESTAURO, REGIONE SICILIANA
Via C. Colombo, 52 – 90146 Palermo, Tel. 091 6398654, Fax: 091 6376088
pelegelino@tin.it

1. Introduzione

Il 7 dicembre 2005, nel corso di una campagna di scavo condotta dal Prof. Ernesto De Miro e dalla Dott.ssa Graziella Fiorentino nella Valle dei Templi di Agrigento, sono state rinvenute due statue acefale nell'area del già noto tempio romano sorto sull'ampliamento del *boleuterion* (il senato cittadino) di età augustea, a circa 150 cm di profondità. Le statue, alte circa 175 cm, sono realizzate in marmo bianco, probabilmente di Carrara e risalgono verosimilmente all'età antonina (II sec. d.c.) (Fig. 1).

Le due statue, che rappresentano due personaggi maschili togati, conservano tra le pieghe delle toghe terra di scavo incoerente, al cui interno sono state rilevate scaglie di materiale fittile di esiguo spessore e di colore rosso intenso. La prima statua presenta la mano sinistra appoggiata sul corpo e il solo avambraccio destro; la seconda statua presenta l'avambraccio sinistro ricoperto dalla veste ed un perno metallico che univa la parte di braccio destro adesso mancante.

In questo lavoro vengono presentati i risultati delle misure colorimetriche effettuate dal Laboratorio di Fisica del CRPR su aree campione appositamente scelte fra porzioni non ancora pulite e su un saggio di pulitura realizzato sulla base della prima statua. Vengono inoltre confrontate le coordinate colorimetriche di zone naturalmente poco sporche e dei saggi di pulitura effettuati dal Laboratorio di Restauro dell'Ente Parco Valle dei Templi di Agrigento al fine di restituire, durante tale operazione, l'equilibrio cromatico più idoneo con l'ausilio di metodiche di intervento che operano sul manufatto con la minima invasività. Oggi la pulitura effettuata con l'impiego del laser agisce con elevata selettività e controllo per la rimozione delle forme di alterazione cromatica e permette, unitamente alla preliminare analisi colorimetrica, di definire il "livello di pulitura" che si vuole raggiungere, interessando la sola area direttamente irraggiata.

Il Laboratorio di Chimica ha effettuato misure di fluorescenza X su tracce di colore rosso per rilevare l'eventuale presenza di pigmentazione sulle statue, dal momento che nell'antichità queste erano policrome [1]; inoltre sono state eseguite misure di fluorescenza X sul perno metallico di fissaggio del braccio sinistro della seconda statua.



Fig. 1 – Le due statue romane ritrovate ad Agrigento e trasferite nel Laboratorio di Restauro dell'Ente Parco Valle dei Templi di Agrigento (foto gentilmente fornita dall'Ente Parco Valle dei Templi di Agrigento).

2. Strumentazione impiegata e misure effettuate.

Per lo svolgimento delle indagini colorimetriche il Laboratorio di Fisica ed Ambientalistica degli Interni del CRPR è stato impiegato uno spettrofotometro Minolta modello CM 2600d, calibrato prima di effettuare le misure, e i dati rilevati

sono stati elaborati mediante software Spectramagic 3.6 di cui lo strumento è dotato. Lo spazio del colore impiegato è quello $L^* a^* b^* \Delta E$ [2].

Le misure di fluorescenza X sono state fatte con uno strumento portatile, in dotazione presso il Laboratorio di Chimica del CRPR; è un Assing Lithos 3000 da 30 kV con anodo in molibdeno e dotato di software per l'analisi quantitativa degli elementi chimici da investigare.

2.1 Misure di colore

Per effettuare le misurazioni lo strumento è stato settato con i seguenti parametri: media auto 3 (numero delle misure eseguite su uno stesso campione e relativo valore medio); area di lettura "S" (pari a 3 mm); SCI (componente speculare inclusa); UV 100% (componente ultravioletta attiva); illuminante primario D65.

Le superfici non pulite della mano della prima statua (Fig. 2) presentano caratteristiche colorimetriche analoghe, evidenziate dallo stesso andamento spettrale, con valori di luminosità compresi fra L^* 58,33 – 62,85, valori di a^* compresi fra 3,31 – 3,64 e valori di b^* compresi fra 12,69 – 14,54 (Tab. 1).



Fig. 2 – Prima statua, mano sinistra con i punti di misura.



Fig. 3 – Prima statua, base con i punti di misura.

Tab. 1 – Punti di misura sulla mano sinistra della prima statua

Punto di misura	Note	L^*	a^*	b^*	C^*	h	ΔE
Target	centro dorso	62,32	3,64	14,32	14,78	75,74	-
1	dorso in basso	62,85	3,50	14,24	14,67	76,19	0,55
2	dorso a sx	61,40	3,33	12,69	13,12	75,28	1,90
3	dorso a dx	58,33	3,41	13,21	13,64	75,52	4,15
4	polso	67,17	3,31	14,54	14,91	77,19	4,68

Sulla base della stessa statua (Fig. 3) sono state effettuate delle prove di pulitura. Pertanto sono state misurate superfici pulite (target e punti da 1 a 6) e non pulite (punti da 7 a 12) della base. Le parti pulite presentano valori di L* compresi fra 69,25 e 73,56, valori di a* fra 0,96 e 3,51, valori di b* fra 12,08 e 19,01. Le parti non pulite hanno valori di L* compresi fra 45,23 e 58,91, di a* fra 3,09 e 4,15, di b* fra 11,34 e 13,29. Si è osservato un netto aumento di luminosità in seguito alla pulitura (aumento di L*) ma uno spostamento verso il verde (diminuzione di a*) e verso il giallo (aumento di b*) (Tab. 2).

Tab. 2 – Punti di misura sulla base della prima statua

Punto di misura	Note	L*	a*	b*	C*	h	ΔE
Target	al centro pulito	71,42	0,96	12,08	12,12	85,45	-
1	in basso a sx pulito	69,25	2,78	18,05	18,26	81,23	6,61
2	in basso a dx pulito	72,82	2,79	15,80	16,05	79,97	4,38
3	in alto a dx pulito	73,13	2,76	16,08	16,32	80,27	4,70
4	angolo a dx pulito	69,74	2,71	16,42	16,63	80,95	4,94
5	angolo a sx pulito	73,56	2,39	14,49	14,69	80,65	3,52
6	in alto a sx pulito	73,11	3,51	19,01	19,34	79,55	7,58
7	faccia lat. sporco	45,23	3,73	11,92	12,49	72,62	26,34
8	faccia lat. alta sporco	48,61	3,09	11,34	11,75	74,76	22,92
9	faccia dx sporco	54,46	3,61	11,95	12,49	73,21	17,17
10	in alto sporco	58,91	4,15	13,29	13,92	72,66	12,97
11	in alto a sx sporco	56,83	3,55	12,28	12,78	73,89	14,83
12	in alto a dx sporco	57,65	3,67	12,30	12,84	73,39	14,04



Fig. 4 – Prima statua, braccio destro con i punti di misura. **Fig. 5** – Seconda statua, ginocchio con i punti di misura.

Le misure su tracce di colore rosso del braccio della prima statua (Fig. 4) sono state effettuate al fine di individuare i pigmenti presenti, riconducibili alla eventuale colorazione originaria della statua (Tab. 3).

Tab. 3 – Punti di misura sul braccio destro della seconda statua

Punto di misura	Note	L*	a*	b*	C*	h	Δ E
Target	rosso	63,44	15,39	26,56	30,70	59,92	-
2	bianco sporco 1	62,76	3,72	14,37	14,85	75,50	-
3	bianco sporco 2	57,76	3,45	12,31	12,78	74,36	-

Sul ginocchio destro della seconda statua (Fig. 5), non oggetto di prove di pulitura, sono state individuate due zone su cui effettuare le misure: una naturalmente pulita (chiaro, target di Tab. 4), l'altra sporca (scuro, punto 1 di Tab. 4).

Tab. 4 – Punti di misura sul ginocchio destro della seconda statua

Punto di misura	Note	L*	a*	b*	C*	h	Δ E
Target	centro chiaro	77,62	4,09	17,99	18,45	77,19	-
1	scuro	58,21	3,25	14,28	14,64	77,18	19,78

Si nota un aumento di L*, passando dalla zona sporca a quella pulita di circa 20 unità, così come avviene nel test di pulitura della base della prima statua; un aumento di a* di circa una unità, al contrario del test di pulitura della base della prima statua in cui si aveva una diminuzione di a* (spostamento verso il verde) ed un aumento di b* (spostamento verso il giallo) come avviene nel test di pulitura.

Durante la pulitura bisognerebbe pertanto evitare di eliminare la componente rossa della statua, ovvero evitare una diminuzione del parametro a^* dello spazio colorimetrico $L^*a^*b^*$; si avrebbe infatti, in questo caso, uno spostamento del colore verso il verde, contrariamente a quanto si osserva analizzando zone naturalmente pulite e zone sporche.

2.2 Fluorescenza X

La tecnica XRF è stata impiegata per lo studio delle tracce rosse visibili sulla prima statua per individuare eventuali pigmenti ad esse associabili e per analizzare il metallo di giunzione di un braccio.

Tenuto conto che la tecnica XRF consente di identificare gli elementi e non i composti, per potere risalire ai pigmenti, eventualmente presenti nei punti esaminati, dai singoli elementi individuati è necessario conoscere sia la composizione dei singoli pigmenti noti in letteratura che la loro risposta nelle condizioni di misura adottate [3]. Il vantaggio dell'uso della tecnica non distruttiva XRF consiste nella possibilità di effettuare numerose osservazioni e di ottenere i risultati al termine di ogni misura fornendo utili informazioni per lo svolgimento delle indagini.

Sono state eseguite quattro misure: punto 1, traccia di rosso come illustrato nella fig. 4; punto 3, perno metallico che fuoriesce dall'avambraccio della seconda statua; le misure sui punti 2 e 4 sono state invece eseguite su frammenti di scavo. Terminate le misure, è stata effettuata un'elaborazione degli spettri utilizzando il software dedicato Lab-Lithos 3000. Ciò ha consentito di eliminare dallo spettro le fluttuazioni statistiche tra i contenuti dei diversi canali, di individuare la posizione dei picchi, di determinare per ciascun picco, in base ai dati sulla risoluzione del rivelatore, se si tratti di un picco singolo o della somma di due o più picchi di energia vicina, di effettuare l'interpolazione del picco o dei picchi con una o più gaussiane ed, infine, di determinare l'area di ciascun picco.

Tutti gli spettri sono stati acquisiti utilizzando i seguenti parametri:

target del tubo di Mo, tempo di acquisizione 200 sec., tensione tubo 24 kV, corrente filamento 0.2 mA, numero canali MCA 4096, standard utilizzato AC_1-new.std, elementi standard Fe (12.349%), Zn (5.630%), Ba (21.804%), Mn (12.105%). Gli elementi individuati negli spettri sopra riportati sono indicati nella tabella che segue (Tab. 5):

Tab. 5 – Elementi individuati

Punto di misura	Colore	Descrizione	Elementi individuati
1	rosso	Avamb. dx prima statua	Ca, Fe, Sr
2	rosso	Coccio su prima statua	Ca, Fe, Sr
3	metallico	Perno seconda statua	Sn, Ca, Fe, Pb, Sr

Punto di misura	Colore	Descrizione	Elementi individuati
4	grigio	Terre da scavo prima statua	Ca, Ti, Mn, Fe, Zn, Sr

Per ciascuna misura si riporta nella tabella 6 l'intensità dei picchi principali degli elementi presenti.

Tab. 6 – Intensità dei picchi principali degli elementi presenti in conteggi

P	Colore	Descrizione	Elementi	Sn	Ca	Ti	Mn	Fe	Zn	Pb	Sr
1	rosso	Avamb. dx prima statua	Ca, Fe, Sr		425			175			45
2	rosso	Coccio su prima statua	Ca, Fe, Sr		40			320			25
3	metallico	Perno seconda statua	Sn, Ca, Fe, Pb, Sr	100	190			1300		160	45
4	grigio	Terre da scavo prima statua	Ca, Ti, Mn, Fe, Zn, Sr		200	10	18	330	18		50

3. Conclusioni

Confrontando le misure effettuate su zone oggetto di pulitura e su altre naturalmente pulite si è evidenziata una variazione analoga delle coordinate colorimetriche L^* e b^* rispetto alle corrispondenti zone non pulite. Per quanto riguarda, invece, il parametro a^* se ne è osservato un aumento passando dalle zone non pulite a quelle naturalmente pulite ed una diminuzione passando dalle zone originali non pulite a quelle oggetto di pulitura. Tali indicazioni devono essere tenute presente se si vuole procedere alla pulitura mediante tecnica Laser per ottenere un livello di pulitura compatibile con le condizioni originarie. La pulitura dovrebbe, a nostro avviso, rispettare le variazioni delle coordinate colorimetriche che si hanno passando dalle zone non pulite a quelle naturalmente pulite.

Dai risultati ottenuti con la tecnica XRF, date le caratteristiche del sistema di misura adottato relative agli spettri di fluorescenza e le condizioni prescelte, è possibile confermare la presenza di ferro. Gli ossidi di ferro sono stati evidenziati anche dalle misure colorimetriche che hanno dato valori riconducibili a quelli dell'ocra rossa [4, 5].

Il ferro è presente in contenuti significativi in molti pigmenti in uso fin dall'antichità. Pertanto, dalla sola presenza dell'elemento ferro, riconducibile genericamente alle varie categorie di pigmenti a base di ferro, non è possibile stabilire se esso individui la presenza di ocre rosse o di terre [6].

Nel caso in esame, è probabile che la coloritura rossa possa essere stata impartita dai cocci presenti accidentalmente nella terra da scavo e non da una originaria coloritura con pigmento rosso. Tale quesito potrà essere risolto solo dopo avere effettuato ulteriori analisi (sezioni sottili, SEM, ecc.) su campioni prelevati dalle statue.

Bibliografia

1. P. Liverani (a cura di), "I colori del bianco, Musei Vaticani", De Luca Editori d'Arte, Roma, 2004.
2. L. Pellegrino, F. Prestileo, G. Bruno, D. Perrone, "Il ruolo del colore per il controllo delle superfici lapidee: tre casi di studio", Quaderno di Ottica e Fotonica SIOF n.13, Atti della Prima Conferenza Nazionale del Gruppo del Colore, Università degli Studi "G. d'Annunzio", Pescara 20-21 ottobre 2005, Firenze, 2005, pp. 227-234.
3. C. Seccaroni, P. Moioli, "Fluorescenza X. Prontuario per l'analisi XRF portatile applicata a superfici policrome", Nardini Editore, Firenze, 2002.
4. IFAC-CNR, Opificio Pietre Dure, "Fiber Optics Reflectance Spectra (FORS) of Pictorial Materials in the 350-1000 nm range", <http://fors.ifac.cnr.it>.
5. A. Aldorovandi, M. Picollo, "Misure di colore su modelli pittorici: confronto interstrumentale", Quaderno di Ottica e Fotonica SIOF n.6, Atti dei convegni di Firenze 1999 e Venezia 2000, Firenze, 2000, pp. 20-27.
6. G. Montagna, "I Pigmenti. Prontuario per l'arte e il restauro", Nardini Editore, Firenze, 1993.

Riproduzione digitale di opere d'arte: problematiche, considerazioni, soluzioni

DAVIDE GADIA

DIPARTIMENTO DI INFORMATICA E COMUNICAZIONE, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI MILANO

Via Comelico 39 – 20135 Milano, Tel. 02 5031 6339, Fax: 02 5031 6373
gadia@dico.unimi.it

DANIELE MARINI

DIPARTIMENTO DI INFORMATICA E COMUNICAZIONE, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI MILANO

Via Comelico 39 – 20135 Milano, Tel. 02 5031 6358, Fax: 02 5031 6373
daniele.marini@unimi.it

1. Introduzione.

Una corretta riproduzione di un'opera d'arte su carta o su un altro strumento di visualizzazione sempre stato un argomento di discussione e interesse.

Nonostante l'ovvietà del fatto che vedere di persona un capolavoro un'esperienza impossibile da paragonare alla visione di una riproduzione su stampa o su schermo, altresì vero che la base di conoscenza della storia dell'arte consiste per molte persone nell'osservazione di riproduzioni, normalmente inserite in libri di testo o, con l'avvento delle tecnologie digitali, in siti web o in applicazioni multimediali.

Spesso per la qualità delle riproduzioni quantomeno discutibile: non raro trovare diverse immagini della stessa opera in cui colori e contrasto globale sono talmente differenti da porre seri dubbi sulle effettive caratteristiche dell'opera originale.

La larga diffusione di apparecchi fotografici digitali ha ampliato enormemente questo problema: negli ultimi anni numerose gallerie d'arte "virtuali" sono a disposizione su web, create anche da semplici appassionati, dove sono pubblicate fotografie acquisite con strumenti non professionali, spesso in maniera frettolosa e non accurata. La situazione non sempre pi incoraggiante considerando le riproduzioni presenti nei siti web dei musei dove sono esposte fisicamente le opere: sebbene sicuramente le fotografie siano state acquisite in maniera pi professionale, spesso le immagini appaiono comunque troppo scure, senza contrasto, e i colori presentano a volte dominanti cromatiche improbabili e fastidiose.

La realtà che nessuna informazione disponibile riguardo l'effettivo procedimento di acquisizione e trattamento delle immagini digitali disponibili su web: non si hanno dettagli sulla tipologia di apparecchi fotografici utilizzati, né su come le opere siano illuminate al momento dello scatto fotografico, né se queste condizioni di illuminazione siano variate in funzione dei pigmenti utilizzati (si pensi ad esempio alla pittura ad olio, che se male illuminata comporta dei fastidiosi bagliori).

Ovviamente nulla si sa riguardo le successive elaborazioni delle immagini digitali acquisite: bisogna infatti considerare che i formati digitali per immagini supportati dai browser web comportano una notevole compressione *lossy*, ossia con perdita d'informazione, che può introdurre eventuali errori ed artefatti, o accentuare problemi introdotti nelle fasi precedenti dell'acquisizione.

E' evidente che ci sarebbe la necessità di introdurre delle procedure standard per la creazione, la gestione e la diffusione di riproduzioni digitali di opere d'arte, sfruttando le tecniche e le scoperte scientifiche più recenti, quali l'acquisizione di immagini ad alta dinamica; alcuni commenti a riguardo saranno proposti nelle conclusioni di questo articolo.

In mancanza di linee guida precise, questo articolo vuole investigare l'utilizzo di modelli computazionali basati sulla simulazione di meccanismi percettivi del sistema visivo umano al fine di migliorare l'apparenza di riproduzioni digitali di opere d'arte attualmente osservabili e scaricabili da web.

Di particolare interesse considerare in questo contesto gli effetti della simulazione della *costanza cromatica*, ossia la capacità di percepire entro certi limiti la stessa sensazione di colore al cambiare della configurazione spettrale di emissione degli illuminanti presenti in una scena.

In pratica, il sistema visivo è capace di scartare eventuali predominanti cromatiche degli illuminanti (per esempio la dominante rossastra di una comune lampadina), recuperando l'effettiva informazione riguardante le proprietà di riflettività superficiale degli oggetti osservati.

Una nota formulazione teorica del meccanismo di costanza cromatica è data dalla *teoria Retinex* [1], proposta da Edwin Land e soggetto di numerose ricerche negli anni [2], di cui sarà data una breve descrizione nel paragrafo 3 insieme alla implementazione computazionale scelta per i test di questo articolo, nota come *Retinex Browniano* [3].

Questo modello computazionale è stato già utilizzato in alcuni lavori riguardanti immagini digitali di opere d'arte, prevalentemente nel pre-filtering di immagini per operazioni di ricerca in basi di dati di immagini di dipinti e sculture [5][6], e nel post-filtering di immagini di sintesi riguardanti il rendering fotorealistico di ricostruzioni tridimensionali di monumenti [7].

2 Obiettivo

E' da far notare come il contesto di applicazione proposto in questo lavoro per un algoritmo basato su Retinex sia differente dal solito, come differente anche l'*obiettivo* della sua applicazione: solitamente un algoritmo Retinex viene applicato a fotografie digitali di scene reali o a immagini di sintesi generate da algoritmi di global illumination (che perci cercano comunque di simulare una scena reale), al fine di simulare la risposta percettiva di un osservatore.

In questo lavoro vogliamo applicare il modello computazionale ad immagini di opere d'arte, che sono caratterizzate nella loro creazione dalla *visione artistica dell'autore*, consistente per esempio nella scelta di un uso particolare del chiaro-scuro, o nell'utilizzo di particolari pigmenti e colori. Il soggetto dell'opera d'arte non è una rappresentazione realistica di oggetti o soggetti reali, ma la visione che l'artista ha nella sua mente del mondo che lo circonda e che riporta sulla tela secondo il suo stile personale.

Perci l'obiettivo di questo lavoro non è simulare la percezione di un'opera d'arte da parte di un osservatore, in quanto per far questo dovremmo applicare l'algoritmo Retinex non solo all'immagine del quadro, ma *all'opera d'arte nel contesto dove è posto e osservato normalmente*.

La proposta di questo articolo è sfruttare adeguatamente le capacità di equalizzazione cromatica e del contrasto [3] di un algoritmo Retinex, applicandole a immagini digitali di opere d'arte *al di fuori del loro contesto*, migliorandone la resa cromatica e il contrasto, cercando per , per quanto possibile, di preservarne le caratteristiche stilistiche peculiari.

3 Retinex Browniano

La teoria Retinex [1] si basa sull'ipotesi che la visione umana si basi su tre meccanismi localizzati nella retina e nella corteccia cerebrale (da qui *Retinex*, unione delle parole *retina* e *cortex*), processanti indipendentemente uno dall'altro la bassa, la media e l'alta frequenza dello spettro del visibile.

Ognuno dei tre sistemi calcola la "*lightness*" di un punto effettuando una serie di rapporti tra varie parti dell'immagine, utilizzando un meccanismo di *reset* per effettuare la ricerca della regione pi chiara dell'immagine, il cui valore sarà considerato il "bianco" di riferimento locale.

L' algoritmo noto come Retinex Browniano [3] è caratterizzato dall'utilizzo di cammini casuali all'interno dell'immagine costruiti tramite l'implementazione di un moto Browniano approssimato (vedi figura 1).

Questa scelta è basata su studi [4] effettuati sul cervello umano nei quali si afferma che la distribuzione dei meccanismi recettivi nell'area corticale V4 (responsabile della visione cromatica in scene complesse) pu essere approssimata con cammini Browniani.

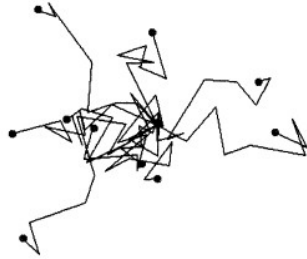


Fig. 1 – Esempio di 10 cammini casuali browniani.

Data un'immagine digitale, l'algoritmo considera un piano colore (RGB) per volta, e per ogni pixel di ogni canale genera un numero N di cammini. Per ogni piano colore, il nuovo valore $R(i)$ del pixel in posizione i data dal valore medio della *lightness* relativa $r(i;j)$ calcolata lungo i cammini partenti dal punto j e terminanti in i (vedi figura 2):

$$R(i) = \frac{\sum_{k=1}^N r(i, j_k)}{N}$$

dove
$$r(i, j_k) = \sum_{x \in path} \delta \cdot \log \frac{S^{x+1}}{S^x} \quad \text{e} \quad \delta = \begin{cases} 1 & \text{if } \left| \log \frac{S^{x+1}}{S^x} \right| > soglia \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

L'operazione di sogliatura dei rapporti permette di eliminare piccole variazioni dovute a non omogeneità dell'illuminante.

Durante la computazione di un cammino applicato un meccanismo di *reset*: se una area pi chiara incontrata, la *lightness* relativa accumulata lungo il cammino fino a quel punto viene impostata al massimo valore. Questo meccanismo forza la ripartenza della computazione a partire dalla zona pi chiara incontrata, che viene considerata come il bianco di riferimento. Il risultato finale dell'applicazione del

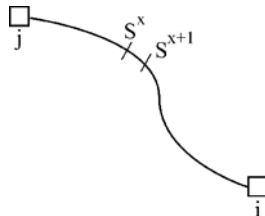


Fig. 2 – Lungo il cammino dal punto j al punto i , la *lightness* relativa è calcolata tramite il rapporto tra i valori dei punti nelle posizioni x e $x+1$.

meccanismo di *reset* consiste nello “scartare” eventuali predominanti cromatiche degli illuminanti presenti nella scena.

4 Applicazione di Retinex Browniano a immagini di opere d'arte

Per i test proposti in questo lavoro sono state selezionate alcune immagini digitali di opere d'arte da alcuni siti web [14][15][16][17], il cui utilizzo conforme alle normative vigenti sul diritto d'autore. Sono state scelte immagini che fossero di qualità accettabile per risoluzione e qualità, ma in cui fosse evidente la necessità di lavorare sulla gamma cromatica e sul contrasto.

Come conseguenza dei commenti del paragrafo 2, l'applicazione diretta del Retinex Browniano alle immagini nella loro forma originale non ha portato, come previsto, a risultati soddisfacenti.

Infatti l'effetto della computazione di un algoritmo Retinex porta all'eliminazione di eventuali dominanti cromatiche nell'immagine filtrata: questo sicuramente un effetto desiderabile nel caso in cui una distorsione cromatica sia stata introdotta durante il processo di acquisizione ed elaborazione iniziale dell'immagine.

Il problema sorge nel momento in cui l'opera d'arte ha caratteristiche peculiari in tal senso *volute dall'artista*: se l'opera presenta comunque una gamma cromatica particolarmente centrata su alcune tinte, l'applicazione dell'algoritmo Retinex porterà alla perdita delle caratteristiche cromatiche originali dell'opera. Questo dovuto al meccanismo di *reset*, tramite il quale il valore μ chiaro lungo un cammino viene considerato come il bianco di riferimento. Ma non essendo l'immagine una rappresentazione di una scena reale, ma di un'opera d'arte, questo porta a uno spostamento dei colori calcolati rispetto alla gamma cromatica voluta dall'artista. Un esempio di questo fenomeno visibile nel pavimento in figura 4.

Altro problema si pone con immagini caratterizzate da zone particolarmente scure: in questo caso si nota la presenza anche notevole di rumore gaussiano nell'immagine filtrata, oltre a un'eccessiva perdita nel contrasto globale originale dell'opera. Questo fenomeno dovuto ai noti problemi degli algoritmi Retinex nel trattare immagini molto scure, in quanto la teoria Retinex cerca di simulare situazioni di visione fotopica, quando i coni della retina sono completamente attivi, mentre in situazioni di oscurità sono maggiormente attivi i bastoncelli (si parla in questo caso di *visione scotopica*).

A questo problema di carattere tecnico, bisogna aggiungere anche in questo caso l'influenza delle scelte artistiche degli autori che, in alcuni periodi storici, hanno privilegiato l'uso di tinte particolarmente scure. Occorre anche considerare che spesso nel tempo i pigmenti usati dall'artista potrebbero aver subito modifiche chimiche o fisiche, portando ad una alterazione dei colori.

Da considerare inoltre il fatto che in aree molto scure la compressione tipica delle immagini destinate al web particolarmente forte, con maggiore perdita d'informazione. Un esempio di questi problemi mostrato in figura 5, molto evidente nella parte a sinistra dell'immagine filtrata.



Fig. 3 – Esempio di applicazione di una cornice bianca ad una delle immagini utilizzate per i test: il bordo nero è aggiunto solo in questo contesto per una corretta visualizzazione.

Per ovviare a questi problemi si è pensato di introdurre un meccanismo che “forzasse” la computazione dell’algoritmo Retinex a conservare determinate caratteristiche cromatiche e di contrasto dell’opera originale.

Si è pensato quindi di aggiungere all’immagine da filtrare con il modello Retinex una “cornice” bianca virtuale: in questo modo la ricerca del bianco di riferimento locale in ogni pixel viene vincolata dalla presenza della cornice. Dopo vari test, l’altezza e la larghezza della cornice sono state determinate calcolando il 30% delle corrispondenti dimensioni iniziali dell’immagine da filtrare (si veda figura 3).

L’equalizzazione cromatica ottenuta è meno forte di quella risultante filtrando l’immagine originale, ma è più coerente con le caratteristiche stilistiche dell’opera (si veda come esempio il pavimento nella figura 6 a destra, dove viene mantenuta una certa dominante rossastra più coerente allo stile dell’artista).

Nel caso di immagini particolarmente scure, il rumore gaussiano viene eliminato, in quanto il bianco locale di riferimento fornito dalla cornice evita gli errori numerici dovuti ad una computazione su un cammino a valori quasi completamente nulli. Il contrasto globale viene sicuramente migliorato, mantenendo comunque le caratteristiche peculiari dell’immagine originale. Un esempio è mostrato in figura 7, dove il rumore nella parte a sinistra dell’immagine filtrata è eliminato, il contrasto globale è nettamente migliore, mantenendo per una maggiore coerenza nella resa finale delle zone più scure..

È da notare comunque come l’applicazione del Retinex Browniano purtroppo comporti in alcuni casi la perdita di dettagli, come ad esempio le nuvole nelle figure 5 e 7. Questo è dovuto al fatto che Retinex Browniano effettua una sorta di campionamento dell’immagine tramite i cammini casuali, e questo può portare a una carenza di computazione in aree interessate da dettagli più fini. Ovviamente anche in questo frangente è forte l’influenza della notevole compressione con conseguente carenza di informazione dell’immagine originale.



Fig. 4 – Vincent Van Gogh, “La camera da letto (ad Arles)”, 1888, Museo d’ Orsay, Parigi. A sinistra l’originale [14]; a destra il risultato dell’applicazione del Retinex Browniano **senza cornice**. Si noti l’eccessiva perdita di cromaticità sul pavimento.



Fig. 5 – Karl Blechen, “Gorge at Amalfi”, 1831, Galleria Nazionale, Berlino. A sinistra l’originale [15]; a destra il risultato dell’applicazione del Retinex Browniano **senza cornice**. Si noti la forte presenza di rumore gaussiano a sinistra e la perdita di contrasto globale.



Fig. 6 – Vincent Van Gogh, “La camera da letto (ad Arles)”, 1888, Museo d’ Orsay, Parigi. A sinistra nuovamente l’originale [14]; a destra il risultato dell’applicazione del Retinex Browniano alla **versione con cornice** bianca (si veda figura 3) dell’originale (qui non mostrata per una migliore visione del risultato). Si noti come il pavimento mantenga una cromaticità rossastra più coerente con lo stile dell’artista, che veniva persa in figura 4.



Fig. 7 – Karl Blechen, “Gorge at Amalfi”, 1831, Galleria Nazionale, Berlino. A sinistra nuovamente l’originale [15]; a destra il risultato dell’applicazione del Retinex Browniano alla **versione con cornice** bianca (si veda figura 3) dell’originale (qui non mostrata per una migliore visione del risultato). Si noti come il rumore gaussiano evidenziato in figura 5 sia scomparso e come il contrasto globale sia migliorato, mantenendo comunque la presenza di aree piuttosto scure a sinistra, coerentemente con lo stile dell’opera.

Le figure 8 e 9 mostrano altri due esempi di applicazione del modello computazionale a immagini di famose opere d'arte.

Per una migliore visione dei risultati, la cornice bianca il cui utilizzo è stato descritto in questo paragrafo è stata omessa.

5 Conclusioni e sviluppi futuri.

È stato mostrato come migliorare la resa cromatica e il contrasto di immagini digitali di opere d'arte applicando un modello computazionale basato sulla simulazione di meccanismi di percezione cromatica.

Un algoritmo basato sulla teoria Retinex è stato applicato ad un set di immagini visibili su web, ed è stato mostrato come sfruttarne le capacità di equalizzazione cromatica e del contrasto cercando di preservare determinate caratteristiche proprie della visione artistica dell'autore dell'opera, quali la particolare gamma cromatica utilizzata e la presenza voluta di aree fortemente scure.

A tal fine si è mostrato che l'aggiunta all'immagine originale di una "cornice" bianca virtuale permette un buon compromesso tra il mantenimento delle caratteristiche peculiari dell'opera, e il miglioramento dei colori e del contrasto dell'immagine, al costo di una perdita di dettagli in alcuni casi, dovuti alla natura di campionamento dell'immagine del Retinex Browniano e alla scarsità di informazione caratteristica della compressione applicata alle immagini destinate al web.

L'aggiunta della cornice virtuale introduce un meccanismo di "forzatura" nella ricerca del bianco locale di riferimento tipico di Retinex, facendo in modo che la gamma cromatica originale del quadro non sia eccessivamente distorta. Essendo un elemento innovativo nell'applicazione di modelli computazionali basati su Retinex, ulteriori test andranno sviluppati per studiarne più approfonditamente l'effetto.

Particolare interesse rappresenta l'applicazione di altri modelli computazionali basati o ispirati dalla teoria Retinex, quali RSR (Random Spray Retinex) [8] o ACE (Automatic Color Equalization) [9]. Quest'ultimo modello include anche la simulazione del meccanismo percettivo noto come *costanza luminosa*, ossia la capacità di percepire come grigio medio il valore medio di luminanza della scena osservata. L'applicazione di un simile meccanismo potrebbe essere problematico per immagini di opere d'arte con zone volutamente molto scure. A tal fine si testerà una particolare versione di ACE utilizzata per il restauro di pellicole cinematografiche [10]: in questa versione dell'algoritmo particolari parametri sono stati inclusi per forzare la computazione a mantenere determinate caratteristiche volute dal regista nell'opera originaria, quali per esempio una forte predominanza cromatica o una condizione di scarsa illuminazione.

Come accennato nel paragrafo 1, l'eccessiva varietà nella qualità delle immagini disponibili su web è un preciso segnale di quanto sarebbe necessario introdurre uno standard nel processo di acquisizione di immagini digitali di opere d'arte al fine della divulgazione di prodotti multimediali o siti web, in termini di contesto e

condizioni di illuminazione, strumenti di acquisizione, elaborazione dell'immagine acquisita.

Di sicuro beneficio sarebbe l'acquisizione di immagini *ad alta dinamica* delle opere d'arte [11], in quanto questo tipo di immagini permette di avere in ogni pixel valori in virgola mobile corrispondenti ai valori di luminanza misurabili sperimentalmente. Per riferimento, una normale fotografia digitale pu rappresentare in ogni pixel solamente valori interi tra 0 e 255: possibile quindi acquisire solo poca parte dell' informazione realmente disponibile, con conseguente perdita nella qualità globale dell'immagine acquisita.

Un' immagine ad alta dinamica viene ricostruita con buona precisione da tecniche di interpolazione che si basano su una serie di scatti della scena a tempi d'esposizione crescenti [11]: quindi evidente che non c' necessità di attrezzature particolari ed estremamente costose, in quanto una normale attrezzatura fotografica digitale di qualità professionale perfettamente adeguata allo scopo.

A partire da questo tipo di dati, l'applicazione di modelli computazionali (come quello proposto) per la mappatura dei dati ad alta dinamica a valori visualizzabili su monitor (procedimento chiamato *mappatura dei toni*) pu fornire risultati di maggiore precisione e qualità, la conversione dei quali ai formati fortemente compressi destinati alla visualizzazione su web dovrebbe comportare una perdita di informazione maggiormente controllata e non eccessivamente penalizzante nel risultato finale. L'algoritmo Retinex Browniano utilizzato in questo articolo stato adattato per l'elaborazione di dati ad alta dinamica con risultati molto soddisfacenti [12].

Ricordiamo inoltre che anche i *videofotometri*, strumenti usati in campo illuminotecnico per misurare e valutare i valori di luminanza presenti in una scena rispetto ai valori stabiliti dagli standard di legge, utilizzano una procedura d'acquisizione di valori ad alta dinamica.

Applicazioni di misure basate su aspetti percettivi nell'ambito della valutazione del contesto di esposizione di un'opera d'arte sono stati proposti recentemente [13]; evidente quindi l'adeguatezza di queste tecniche anche in un contesto pi generale di corretto trattamento e mantenimento delle opere d'arte.

6 Ringraziamenti.

Si ringrazia il Prof. Alessandro Rizzi e il Dott. Carlo Gatta per i loro commenti riguardanti i test effettuati.

Si ringrazia Francesco Castelli per l'aiuto nella ricerca del materiale e per lo svolgimento dei test.



Fig. 8 – Caravaggio, “Giuditta e Oloferne”, 1599, Gall. Nazionale d’ Arte Antica, Roma. A sinistra mostriamo l’originale [16]; a destra il risultato dell’applicazione del Retinex Browniano alla **versione con cornice** bianca (si veda figura 3) dell’originale (qui non mostrata per una migliore visione del risultato). Si noti l’eliminazione della predominante rossastra della pelle dei soggetti.

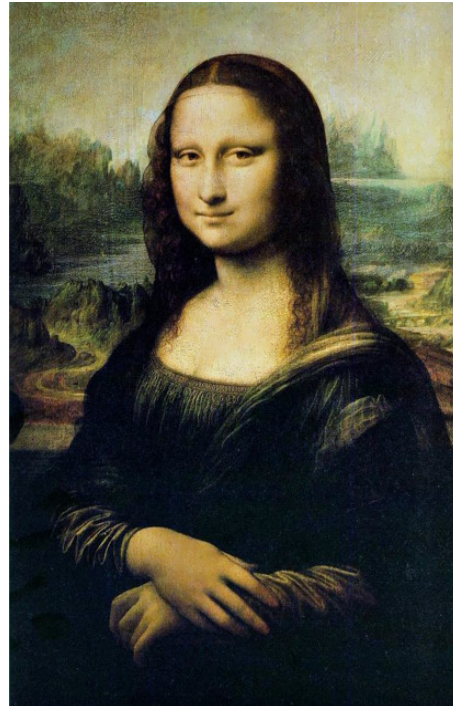
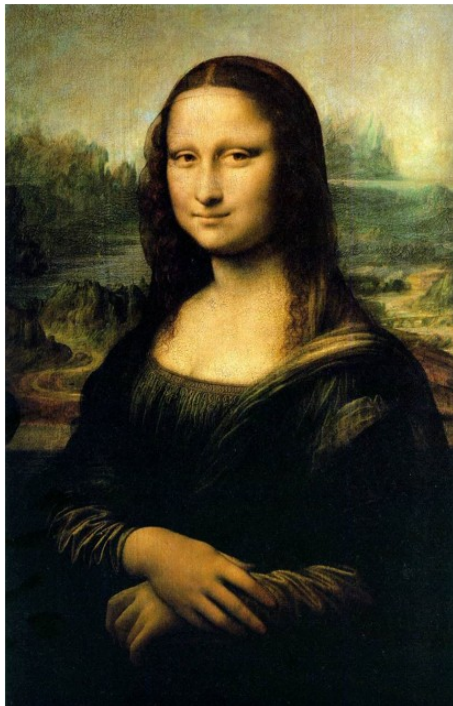


Fig. 9 – Leonardo da Vinci, “La Gioconda (Mona Lisa)”, 1503, Museo del Louvre, Parigi. A sinistra mostriamo l’originale [17]; a destra il risultato dell’applicazione del Retinex Browniano alla **versione con cornice** bianca (si veda figura 3) dell’originale (qui non mostrata per una migliore visione del risultato). Si noti l’eliminazione della predominante cromatica globale giallastra.

Bibliografia

1. E. Land, J. McCann, "Lightness and Retinex Theory", *Journal of Optical Society of America*, 61, 1971, pp. 1-11.
2. AA. VV, "Retinex at 40, Special Issue", *Journal of Electronic Imaging*, 2004, 13(1).
3. D. Marini, A. Rizzi, "A computational approach to color adaptation effects", *Image and Vision Computing*, 18, 2000.
4. S. Zeki, "A Vision of the Brain", *Blackwell Scientific Pub.*, Cambridge, 1993.
5. D. Marini, A. Rizzi, "A Color Appearance Approach to Image Database Visual Retrieval", *Proc. Of IS&T/SPIE's Electronic Imaging 2000*, San Jose', California (USA), 2000, pp. 24-28.
6. G. Ciocca, D. Marini, A. Rizzi, R. Schettini, S. Zuffi, "Retinex Preprocessing of Uncalibrated Images for Color Based Image Retrieval", *Journal of Electronic Imaging*, Vol 12(1), 2003, pp. 161-172.
7. M. Rossi, D. Marini, A. Rizzi, "Chromatic Adaptation Post-Filtering in Image Synthesis Reproduction of Ancient Building for Restoration Support", *ICHIM2001, Cultural Heritage and Technologies in the Third Millennium*, Milano, 2001
8. E. Provenzi, M. Fierro, A. Rizzi, L. De Carli, D. Gadia, D. Marini, "Random Spray Retinex: a new Retinex implementation to investigate the local properties of the model", accettato per la pubblicazione in *IEEE Transactions on Image Processing*.
9. A. Rizzi, C. Gatta, D. Marini, "A New Algorithm for Unsupervised Global and Local Color Correction", *Pattern Recognition Letters*, 2003, Vol 24(11), pp. 1663-1677.
10. A. Rizzi, C. Gatta, C. Slanzi, G. Ciocca, R. Schettini, "Unsupervised color film restoration using adaptive color equalization", *VISUAL 2005, 8th International Conference on Visual Information System*, Amsterdam, 2005.
11. E. Reinhard, G. Ward, S. Pattanaik, P. Debevec, "High dynamic range imaging", *Elsevier / Morgan Kaufmann*, 2005
12. D. Gadia, D. Marini, A. Rizzi, "Tuning Retinex for HDR Images Visualization", in *Proc. of CGIV04, IS&T Second European Conference on Color in Graphics, Imaging and Vision*, 2004, pp. 326-331.
13. M. Rossi, D. Gadia, A. Rizzi, D. Marini, "Towards Image-Based Measurement of Perceived Lightness applied to Paintings Lighting.", *Proceedings of VAST2005*, Pisa, 2005.
14. <http://www.ibiblio.org/wm/paint/auth/gogh/gogh.chambre-arles.jpg>
15. <http://www.wga.hu/art/b/blechen/03amalfi.jpg>
16. <http://www.ibiblio.org/wm/paint/auth/caravaggio/judith.jpg>
17. http://it.wikipedia.org/wiki/Immagine:Mona_Lisa.jpeg

A comparison of algorithms for blue scratch removal in digital images

LUCIA MADDALENA

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, INSTITUTE FOR HIGH-PERFORMANCE
COMPUTING AND NETWORKING (ICAR)

Via P. Castellino, 111 - 80131 Naples, Tel. 081 6139522, fax: 081 6139531
lucia.maddalena@na.icar.cnr.it

ALFREDO PETROSINO

UNIVERSITY OF NAPLES PARTHENOPE, DEPARTMENT OF APPLIED SCIENCE
Via A. De Gasperi, 5 - 80133 Naples, Tel. 081 5476601, Fax: 081 5522293
alfredo.petrosino@uniparthenope.it

1. Introduction

Digital film restoration is an evolving area of image processing aimed at studying methodologies and techniques that allow to digitally restore damaged movies, in order to preserve their historical, artistic and cultural value and to facilitate their diffusion through modern communication media.

Several types of defects can be found in a damaged movie, such as dust and dirt, brightness and positional instability, colour fading, scratches. We are specifically concerned with persistent *scratches*, intended as vertical lines appearing at the same location in subsequent frames of the image sequence. White or black scratches in old movies are mainly due to the abrasion of the film caused by spurious particles present in the camera, during the sequence acquisition phase, or in the projector, during the film projection. Instead, blue scratches, which are the subject of our interest, affect many modern colour movies and are due to spurious particles present in the transport mechanism of the equipment used for the development of the film.

Most of the methods reported in literature that afford this kind of problem are articulated in a *detection* phase and a *removal* phase. Detection consists in searching, among all the vertical lines of the images, those that are not natural lines of the scene, which are characterized as defects; the result of the detection phase over a sequence frame is a binary image, the *scratch mask*, of the same size, where white pixels are related to scratch pixels in the corresponding sequence frame. Removal consists in reconstructing corrupted information only in the defect area individuated by the scratch mask. Being concerned only with the latter phase, in the following we assume that the scratch mask has already been obtained somehow.

Even though the problem of restoration of white or black scratches in digital image sequences has been considered by many authors (see Section 3) and several

commercial software systems include modules for their restoration (such as the *DIAMANT Suite* distributed by HS-ART Digital Service GmbH or the *Revival* distributed by da Vinci Systems, Inc.), the specific case of blue scratches has only recently been addressed [1]. As already mentioned, they generally affect modern colour movies and, therefore, before launching a new motion picture, the film must be digitally restored by companies specialized in digital effects and post-processing. The need for efficient and automatic tools able to digitally remove blue scratches has been the primary input for the reported research.

In this paper we compare several existing methods applied to the removal of blue scratches in digital images, analysing in detail their accuracy on real images.

The contents of this paper are as follows. In Section 2 the features of blue scratches are analysed, in order to understand the basis for removal techniques. Section 3 describes the scratch removal problem and the methods that we consider for the case of blue scratches. In Section 4 we analyse and compare qualitative and quantitative results achieved by the proposed methods on real images. Conclusions are reported in Section 5.

2. Blue scratch characterisation

Blue scratches in a digital image sequence appear as blue strips located along a thin area covering from top to bottom of each sequence frame. An example of blue scratch is given in Fig. 1, which is a detail of a 24 bits RGB colour image, originally of size 2880×2048, belonging to the movie *Animali che attraversano la strada* (2000).

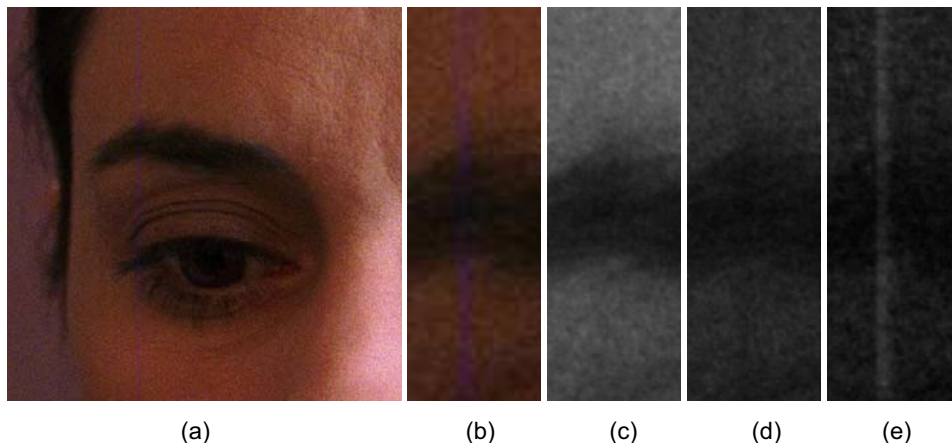


Fig. 1 - Example of a blue scratch: (a) colour image; (b) scratch detail; (c) red, (d) green, and (e) blue band of scratch detail.

Contrary to white or black scratches appearing in dated movies, the direction of blue scratches does not deviate too much from the vertical direction, and their position along the horizontal direction does not change too much (no more than

few pixels) from one frame to the next. Therefore usually blue scratches are not oblique and have fixed position in consecutive frames of the image sequence. This is due to the fact that blue scratches are not caused by improper storage conditions or improper handling of the film, as is usually the case for ancient movies. They are rather caused by spurious particles present in the transport mechanism of the development equipment; in the case of modern equipment, the transport mechanism strictly controls the slippage of the film, which cannot move too much from its rectilinear trajectory. Due to this feature, restoration of blue scratches in image sequences cannot rely on temporal discontinuity of the image intensity function along the sequence; therefore, in the following we concentrate on purely spatial scratch restoration in each image.

Inside the blue scratch area, original information has been substituted by more or less intense blue colour. Specifically, considering the RGB colour space, in the blue band there are increased intensity values compared with the neighbourhood of the scratch; in the green band some of the pixels are altered in an unpredictable way, usually with a slight increase or decrease of intensity values; the red band is usually uncorrupted, although sometimes there could be small fluctuations of intensity values in pixels belonging to the scratch area. These observations are supported by a thorough analysis conducted in [1], where we have analysed all corrupted sequences of the above mentioned movie, identifying the one appearing in Fig. 1 as the most common type.

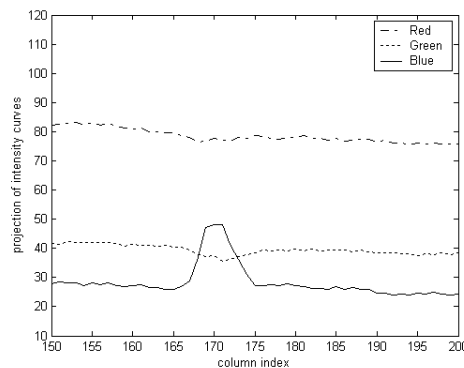


Fig. 2 - Horizontal projection of the image intensity curves of RGB bands of the image of Fig. 1.

In Fig. 2 we show the horizontal projection of the intensity curve (taken as the mean over the image columns of the intensity curve) for the three colour bands of the image of Fig. 1. Here it clearly appears that the horizontal projection of the blue band intensity curve has a ridge in the scratch area. Specifically, in the scratch area the projection of the blue band has a ridge whose width w is about 9 pixels and whose height h is about 25 intensity values; the projection of the green band presents a slight decrease of about 5 intensity values around the centre of the

scratch. The projection of the red band does not show clear effects of the scratch, and red band can be therefore considered as uncorrupted.

Other types of blue scratches include less common cases where the ridge in the projection of the blue band has wider width w (till to 29 pixels) and higher height h (till to 50 intensity values); the green band can present also increasing intensity values around the centre of the scratch, while the red band can be slightly corrupted.

3 Scratch removal

Given a corrupted image and the estimated scratch mask, the scratch removal problem consists in reconstructing corrupted information only in the defect area individuated by the scratch mask.

Depending on the amount of the defect, information included in the scratch area can be either slightly or strongly affected by the defect; thus, the problem can be approached either as a *partially corrupted data* problem or as a *missing data* problem, respectively.

Following the *partially corrupted data* approach, information included in the artefact area is taken into account for the removal. In the case of black or white scratches, some authors adopted such approach and obtained removal through morphological filters [2], interpolation or approximation [3-5], eventually followed by the reconstruction of high-frequency components via Fourier series [3] or via MAP techniques [4].

On the other hand, in the *missing data* approach pixels in the artefact area are considered missing even if they are only slightly altered. This approach has been adopted for black or white scratches by many authors, who obtained removal through interpolation or approximation [6-8], the adoption of autoregressive models [9-10], morphological filters [11], or mean vector filters [12], eventually with the addition of least squares-based grain estimation [7]. Moreover, this approach is the one generally adopted for image *inpainting*, that is the set of techniques for making undetectable modifications to images [13]; such techniques are generally used to fill-in missing data or to substitute information contained in small image regions [14]. Inpainting has been pursued in literature also under different names, such as *image interpolation* [15] and *fill-in* [16-17]; the problem has been afforded also as *disocclusion*, since missing data can be considered as occlusions hiding the image region to be reconstructed [18-19]. Finally, inpainting is also related to *texture synthesis*, where the problem consists in generating, given a sample texture, an unlimited amount of image data which will be perceived by humans as having the same texture [17, 20-22].

Focusing on blue scratches, we have already observed in Section 2 that pixels belonging to the scratch still retain useful information concerning the image structure; therefore the *partially corrupted data* approach seems most amenable. Two methods based on this approach have been considered for the comparative

study of the problem: one [1] has been specifically designed for blue scratches, while the other [23], devised for other kinds of partial colour artefacts, can be applied to the specific case of blue scratches. Moreover, for a more comprehensive comparison, we have also considered two removal methods based on the *missing data* approach: one belongs to the class of interpolating methods [7] and the other one to the class of inpainting algorithms [21]. Both algorithms attempt to reconstruct not only the structure of the image in the scratch domain, but also its texture. All the considered algorithms are briefly outlined in the following.

3.1 Removal algorithms

The Blue Scratch Removal (BSR) algorithm recently proposed in [1] is based on the observation that in uncorrupted areas of the image the displacements of the blue band intensity values from those of the red band are locally roughly constant and the same holds for displacements of the green band from the red band. In the scratch area, instead, such displacements appear strongly varying. Since the red band is usually uncorrupted, the green and blue bands can be restored bringing their displacement from the red band inside the scratch area to the same displacement they have outside the scratch area. The BSR algorithm can be sketched as follows:

Algorithm 1

For each row of the image:

1. Pre-process the red band, in order to take into account cases where the red band appears slightly corrupted;
2. Compute minimum, maximum and median displacement of the green and blue bands from the red band in an uncorrupted neighbourhood of the scratch;
3. Add median displacement to all pixels of the green and blue bands belonging to the scratch area whose displacement from the red band is below minimum or above maximum displacement.

In [23] the authors present a restoration method for films affected by partial colour artefacts resulting mainly from film emulsion melting and the vinegar syndrome. Since the method is based on the observation that the affected areas have not lost their content entirely, but rather the red layer still preserves some of the original image structure, we have adapted the method to the restoration of blue scratches. The removal algorithm proposed in [23] can be sketched as follows:

Algorithm 2

1. Smoothing of the red layer with a Gaussian filter, in order to obtain a reference layer G that retains original information while reducing eventual noise included in the defect area;
2. For each pixel p to be reconstructed:
 - a) Find a "sibling" pixel belonging to an uncorrupted area close to the defect; the search is guided by the image structure still present in the reference

- layer G and gives the pixel q which minimizes a suitable distance from pixel p ;
- b) Paste the RGB values (from the initial unprocessed image) of the sibling pixel q into the current pixel p .

The third scratch removal algorithm taken into account is based on a nonparametric Markovian model adopted in [21] for texture synthesis, and adapted to our purposes. The probabilistic model is based on the assumption of spatial locality: the probability distribution for one pixel given the values of its neighbourhood is independent of the rest of the image. The model is non-parametric in the sense that the probability function is not imposed or constructed explicitly, but it is approximated by a reference sample image, which must be large enough to capture the stationarity of the texture. The algorithm proceeds as follows:

Algorithm 3

For each pixel p to be reconstructed:

1. Determine the sample image C , chosen as a square window centred in p ;
2. Construct the set Q of pixels in C having a neighbourhood *similar* to that of p . The similarity of two neighbourhoods is measured according to the normalized sum of squared differences and it is weighted by a two-dimensional Gaussian, in order to give more importance to the pixels that are near the centre of the window than to those at the edge;
3. Reconstruct pixel p , assigning it the intensity value of a pixel randomly drawn from the set Q .

In order to establish the reconstruction order, for each scratch pixel detected in the binary mask the number of its valid neighbours is enumerated; pixels are then replaced starting from the ones having the most valid neighbours. Scratches are thus simultaneously and progressively filled from the edges to the centre of the scratch. Algorithm 3 has been separately applied to the YCbCr components of the corrupted image.

The last scratch removal algorithm we considered is the one presented in [7], where a simple interpolating method is adopted and the interpolation result is corrected by adding to it the estimated displacement between the adopted model and the real model. Specifically, the procedure consists of:

Algorithm 4

1. Interpolate the pixels pertaining to the scratch domain;
2. Estimate the image texture in the scratch neighbourhood, by computing the displacement between the least square fitting over an uncorrupted neighbourhood of the scratch and the same neighbourhood pixels;
3. Add the estimated texture to the pixels belonging to the scratch domain.

Different versions of the above described method can be obtained by adopting different interpolation methods and neighbourhood shapes. Algorithm 4 has been separately applied to the YCbCr components of the corrupted image.

4. Experimental results

The results of Algorithms 1-4 applied to the corrupted image of Fig. 1 are shown in Fig. 4. Here we can observe that all the algorithms performs in a quite satisfactory way from the subjective visual point of view, even though the inspection of the small printed version of the images does not allow to capture all the details.

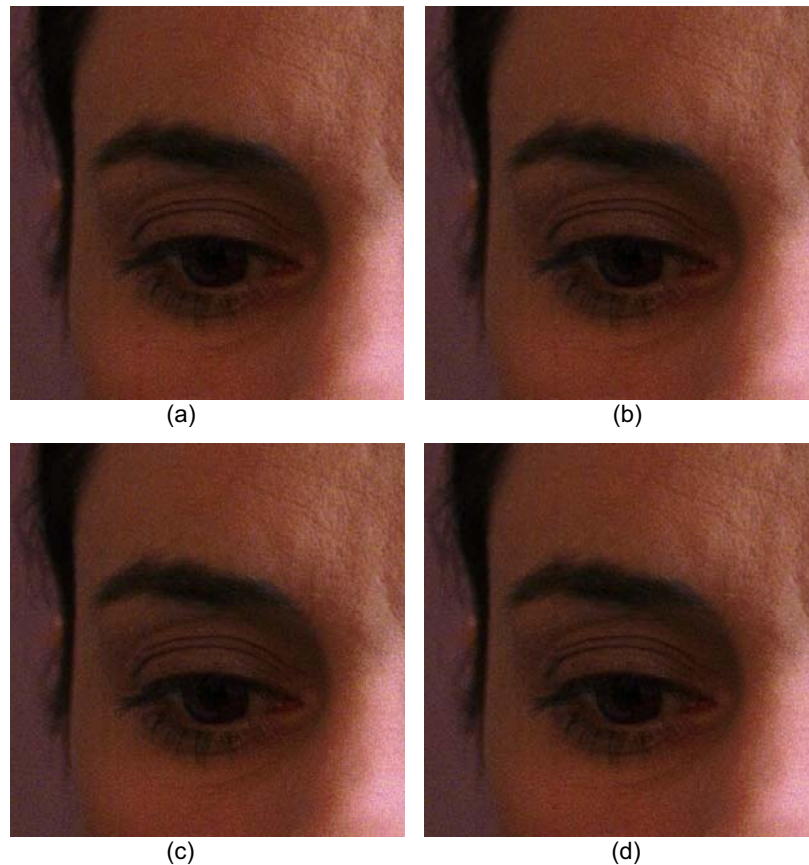


Fig. 4 – Blue scratch removal for the image of Fig. 1 obtained with Alg.: (a) 1; (b) 2; (c) 3; (d) 4.

In order to give a quantitative evaluation of removal algorithms, we have artificially corrupted real images with blue scratches, modelling the horizontal projection of the blue and the green bands in the scratch with a complete cubic spline interpolating extrema of the projection and its maximum point [1].

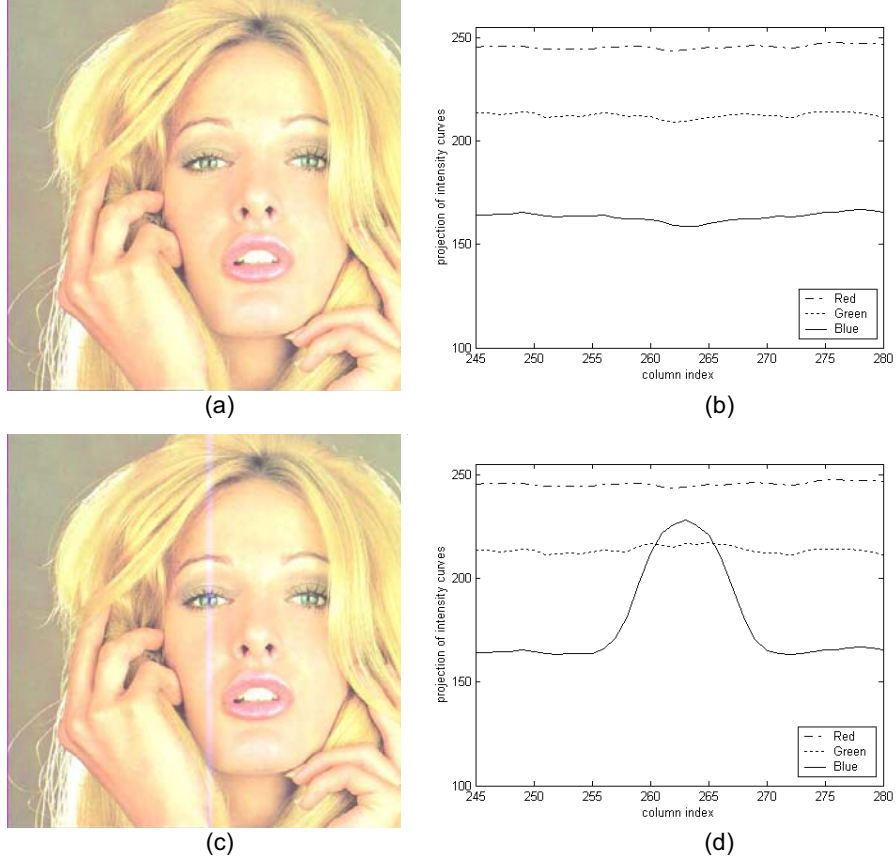


Fig. 3 - Example of artificial blue scratch: (a) original image; (b) horizontal projection of the intensity curves of the three bands of original image; (c) image corrupted with blue scratch of width $w=15$ and height $h=70$; (d) horizontal projection of the intensity curves of the three bands of corrupted image.

Specifically, we considered $L=20$ uncorrupted original RGB images I_l , $l=1, \dots, L$, each of size $N_l \times M_l$; they include well known images (e.g. 'Lena', 'Tiffany') obtained by [24-26], as well as images taken from uncorrupted areas of already digitised images of the movie *Animali che attraversano la strada* (2000). The corresponding images with an artificial blue scratch of odd width w and fixed height $h=70$, denoted as I_l^w , $l=1, \dots, L$; $w=5, 7, \dots, 15$, have been obtained as:

$$\vec{I}_1^w(i, j)^T = \begin{cases} \vec{I}_1(i, j)^T + [\mathbf{0}, s_w(j)/f, s_w(j)]^T & \text{if } (i, j) \in \Omega_1^w \\ \vec{I}_1(i, j)^T & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

where $\vec{I}_1(i, j)^T = [I_1(i, j, 1), I_1(i, j, 2), I_1(i, j, 3)]^T$, $\vec{I}_1^w(i, j)^T = [I_1^w(i, j, 1), I_1^w(i, j, 2), I_1^w(i, j, 3)]^T$, Ω_1^w denotes the scratch domain, that is the rectangular subset of the

image domain of size $N_l \times w$ having as first column the centre column $b=M/2$ of the image: $\Omega_l^w = \{(i, j) : i = b, \dots, b + w + 1; j = 1, \dots, N_l\}$, and $s_w(j)$ denotes the complete cubic spline interpolating points $(b-1, 0)$, $(b+w/2, h)$, $(b+w, 0)$. An example of an image I_l^w artificially corrupted with a blue scratch of width $w=15$ is given in Fig. 3, together with the horizontal projection of the intensity curves for its three bands; all the other artificially corrupted images I_l^w are available at web page [27].

Given the scratch width w , let be, for $l=1, \dots, L$:

- o_l the subimage of original image I_l containing only pixels in Ω_l^w ,
- r_l the subimage of the restored image R_l^w , obtained with BSR algorithm, containing only pixels in Ω_l^w .

The following objective measures for the evaluation of the restoration quality attained by the considered removal algorithms have been adopted:

- *MeanMSE*: mean, over the L images, of the Mean Square Error (MSE) between the original and the restored images:

$$MeanMSE = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \frac{1}{N_l \times w} \|o_l - r_l\|^2,$$

where $\|\cdot\|$ is intended as vector norm. Such measure gives a nonnegative value; the smaller the value of *MeanMSE*, the better the restoration result;

- *MeanPSNR*: mean, over the L images, of the Peak-Signal-to-Noise-Ratio between the original and the restored images obtained considering the MSE:

$$MeanPSNR = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \left(10 * \log_{10} \left(255^2 / \frac{1}{N_l \times w} \|o_l - r_l\|^2 \right) \right)$$

Such measure gives a nonnegative value; the higher the value of *MeanPSNR*, the better the restoration result;

- *MeanSSIM*: mean, over the L images, of the Structural Similarity Index [28] applied to the original and the restored images:

$$MeanSSIM = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \frac{(2 * \mu_{o_l} * \mu_{r_l} + C_1)(2 * \sigma_{o_l r_l} + C_2)}{(\mu_{o_l}^2 + \mu_{r_l}^2 + C_1)(\sigma_{o_l}^2 + \sigma_{r_l}^2 + C_2)},$$

where $C_1=(K_1*A)^2$, $C_2=(K_2*A)^2$, $K_1=0.01$, $K_2=0.03$, and $A=255$. Such measure gives values in $[0,1]$; the higher the value of *MeanSSIM*, the better the restoration result.

- *MeanΔE*: mean, over the L images, of the ΔE average pixel-by-pixel error in CIEL*a*b* between the original and the restored images:

$$Mean\Delta E = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \frac{\sum_{i=1}^{N_l} \sum_{j=1}^w \Delta E(o_l(i, j), r_l(i, j))}{N_l \times w}.$$

Such measure of the chromatic perceptual difference between the two images gives a nonnegative value; the smaller the value of $Mean\Delta E$, the better the restoration result.

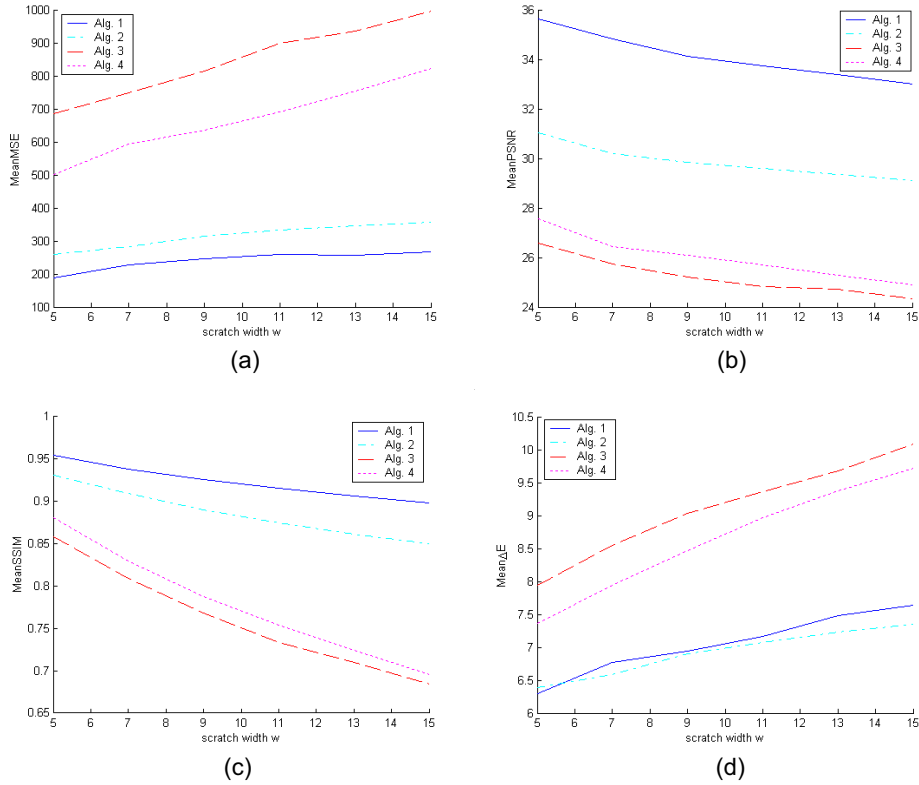


Fig. 5 – Error estimates for blue scratch removal algorithms applied to images described in eqn. (1): (a) $MeanMSE$; (b) $MeanPSNR$; (c) $MeanSSIM$; (d) $Mean\Delta E$.

Results in terms of the described measures obtained by the considered removal algorithms varying the scratch width w are reported in Fig. 5. Here we can observe that both statistical and perceptual properties of the original images are much better restored by the *partially corrupted data* approach (Algs. 1-2) than by the *missing data* approach (Algs. 3-4). Specifically Alg. 1 reaches the best statistical performance and has perceptual performance comparable with that of Alg. 2. Finally, it can be observed that results obtained with all the considered measures show lower accuracy increasing the scratch width w , in accordance with the increasing reconstruction difficulty as the reconstruction area widens.

5. Conclusions

We considered the problem of removing blue scratches from digital image sequences. In particular, we analysed in detail the specific features of such kind of

scratches and compared several removal methods. A thorough analysis of the algorithms accuracy, accompanied by several numerical experiments carried out on both naturally and artificially corrupted images, show that the algorithms based on the partially corrupted data approach produce always much better results than those based on the missing data approach, and allows to individuate the best performance of the algorithm reported in [1].

Acknowledgements

This work has been partially supported by the *Regional Competence Centre for the Development and Transfer of Innovation Applied to Cultural and Environmental Heritage (INNOVA)* funded by Regione Campania, Italy.

Bibliography

1. L. Maddalena and A. Petrosino, "Restoration of blue scratches in digital image sequences", *Image and Vision Computing*, to appear.
2. T. Saito, T. Komatsu, T. Ohuchi, T. Seto, "Image processing for restoration of heavily-corrupted old film sequences", *Proc. of ICPR'00*, IEEE Computer Society, 2000, pp. 17-20.
3. L. Joyeux, S. Boukir, B. Besserer, O. Buisson, "Reconstruction of degraded image sequences. Application to film restoration", *Image and Vision Computing*, vol. 19, 2001, pp. 503-516.
4. L. Joyeux, S. Boukir, B. Besserer, "Tracking and MAP reconstruction of line scratches in degraded motion pictures", *Machine Vision and Applications*, vol. 13, 2002, pp. 119-128.
5. R.D. Morris, W.J. Fitzgerald, A.C. Kokaram, "A sampling based approach to line scratch removal from motion picture frames", *Proc. of ICIP'96*, 1996, pp. 801-804.
6. T. Bretschneider, O. Kao, P.J. Bones, "Removal of Vertical Scratches in Digitised Historical Film Sequences Using Wavelet Decomposition", *Proc. of IVCC'00*, New Zealand, 2000, pp. 38-43.
7. L. Maddalena, "Efficient methods for scratch removal in image sequences", *Proc. of ICIAP'01*, IEEE Computer Society, 2001, pp. 547-552.
8. L. Rosenthaler, A. Wittmann, A. Gunzl, R. Gschwind, "Restoration of old movie films by digital image processing", *Proc. of IMAG COM 96*, France, 1996, pp. 20-22.
9. A.C. Kokaram, R. Morris, W. Fitzgerald, P. Rayner, "Interpolation of missing data in image sequences", *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 4, 1995, pp. 1509-1519.
10. A.C. Kokaram, "Motion Picture Restoration: Digital Algorithms for Artefacts Suppression in Archived Film and Video", *Springer-Verlag*, 1998.
11. E. Decenciere Ferrandiere, "Restauration automatique de films anciens", *PhD Thesis*, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 1997.

12. O. Kao, J. Engehausen, "Scratch removal in digitised film sequences", *Proc. of CISST'00*, CSREA Press, 2000, pp. 171-179.
13. G. Sapiro, "Image inpainting", *SIAM News*, vol. 35, 2002.
14. J. Verdera, V. Caselles, M. Bertalmio, G. Sapiro, "Inpainting surface holes", *Proc. of ICIP'03*, 2003, pp. 14-17.
15. J. Shen, "Inpainting and the fundamental problem of image processing", *SIAM News*, vol. 36, 2003.
16. C. Ballester, M. Bertalmio, V. Caselles, G. Sapiro, J. Verdera, "Filling-in by joint interpolation of vector fields and grey levels", *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 10, 2001, pp. 1200-1211.
17. A.C. Kokaram, "A statistical framework for picture reconstruction using AR models", *Proc. of ECCV Workshop on Statistical Methods for Time Varying Image Sequences*, 2002, pp. 73-78.
18. C. Ballester, V. Caselles, J. Verdera, "Disocclusion by joint interpolation of vector fields and grey levels", *SIAM Journal Multiscale Modelling and Simulation*, vol. 2, 2003, pp. 80-123.
19. S. Masnou, J.-M. Morel, "Level-lines based disocclusion", *Proc. of ICIP'98*, vol. 3, 1998, pp. 259-263.
20. A.A. Efros, W.T. Freeman, "Image quilting for texture synthesis and transfer", *Proc. of 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, 2001, pp. 341-346.
21. R. Bornard, E. Lecan, L. Laborelli, J.-H. Chenot, "Missing data correction in still images and image sequences", *Proc. of ACM Multimedia*, 2002, pp. 355-361.
22. A.C. Kokaram, "Parametric texture synthesis for filling holes in pictures", *Proc. of ICIP'02*, 2002, pp. 325-328.
23. A. Rares, M.J.T. Reinders, and J. Biemond, "Restoration of films affected by partial color artefacts", *Proc. of EUSIPCO'02*, 2002.
24. Color Texture Analysis, Institut fur Computervisualistik, Universitat Koblenz-Landau, <http://www.uni-koblenz.de/FB4/Institutes/ICV/AGPriese/Research>.
25. Computer Vision Laboratory, Computer Science Department, Univ. of Massachussets, <http://vis-www.cs.umass.edu/vislib/Houses/IM4/images.html>.
26. USC-SIPI Image Database, Electrical Engineering Department, Signal and Image Processing Institute, University of Southern California, <http://sipi.usc.edu/database>.
27. DFR Laboratory, ICAR-CNR, Naples, www.na.icar.cnr.it/~maddalena./DFRLab/GC06BlueScratches.html.
28. Z. Wang, L. Lu, A.C. Bovik, "Video quality assessment based on structural distortion measurement", *Signal Processing: Image Communication*, vol. 19, 2004, pp. 121-132.

On light and colour effects for interior lighting Design: part I theory

M. ROSSI, A. SINISCALCO, C. FALLICA, A. SEASSARO

DIP. IN.D.A.CO. – POLITECNICO DI MILANO

Via Durando, 38/A – 20158 Milano, Tel +390223995696, Fax +390223995698

maurizio.rossi@polimi.it

Abstract

In this work we introduce the theoretical aspects of a work in progress made by the Light, Photometry, Colorimetry and Perceptology Lab of the *Politecnico di Milano*. This research is finalized to develop an interior lighting system, that considers how artificial light can influence positively the physiological and psychological aspects of human being.

1. Introduction

For many years, in the field of lighting design the term *well-being* has been referring to the quality of vision, producing researches for instance on glare, or contrast quality. But also light manufacturers have been involved in the “visual quality” improving colour rendering index of fluorescent and gas discharge lamps. Regarding the lighting, field all these factors have been engineered and adopted in design and production. This has been reported and ruled through the photometry and others norms and the recommendations of the CIE. However two researchers of world-wide reputation as Wout van Bommel president of the CIE and Mark Rea, university professor of cognitive sciences and director of the Lighting Research Centre of the Rensselaer Polytechnic Institute, in recent years have written the following: thanks to the researches lead in last the 25 years, there are the premises of a very important change in the field of the Lighting Design, not caring only about of vision, but also about vision psychophysics. That means considering well-being coming from positive effects that the light can have on the human being in workplaces and residential areas.

2. Physiological effects of the lighting system

Beside production and use of light sources, other aspects have been investigated in the medical field regarding effects of light on human physiology. Light has a direct influence on the cerebral cortex activities, on body temperature [1] and heart beat rate [2]. It is known that light can affect the production of melatonin [3]. Many studies evidenced that the human circadian rhythm is mainly controlled by a mechanism found in the retina [4,5]. A photopigment called melanopsin [6], may have been responsible of this effect.

Some studies were dedicated to analyze how light can empower the performance of shift workers [7,8]. Monk et. al. [9] had demonstrated that light can have also effect on subjective attention level. Lewy et. al. [10] also showed as light can positively influence seasonal affective disorder that, especially in northern countries, affect a wide number of subjects in winter's period, when there's less exposition to solar radiation. Lack et al. proved that light can improve the sleep quality in subjects caught by sleep dysfunction [11]. In chase of serious pathologies as the Alzheimer's syndrome, light can improve wake-sleep phases of the sick ones [12]. It is also clear that light can speed up the rise of weight in premature babies [13,14]. A relation exists between melatonin regulation and breast cancer [15,16]. Following the line of all these researches, we can clearly state that light can affect the well-being in a variety of ways. Important characteristics of light are its quantity, its spectral distribution, the the way it is diffused in the environment.

It has been proved that the retina is the only responsible for translating light input into nervous stimulation useful for the circadian system. Every study aiming at finding effects coming from extra-ocular stimulation turned in negative results [17,18,19,20,21]. Concerning lighting design, we can shortly describe the circadian system as composed by the Suprachiasmatic Nucleus (SCN) of the Hypothalamus, that controls the brain's biological clock. Nervous pulses coming from the retina, go to the SCN, that generates a cycle of 24 hours in the neural activity, the circadian phase. That affects also the pineal gland, that produces the melatonin [22]. Melatonin can be found in blood, saliva and urines as a factor that can reveal the condition of the biological clock of the subject [3].

3. Circadian photometry

In the circadian stimulation there are some elements that must be defined and measured differently from classic photometry, in terms of quantity, spectral and spatial distribution, timing and duration of the exposition [23]. It would be opportune to have a specific circadian photometry (that can measure the biological stimuli for melatonin suppression) with a different curve of response from the one of photopic vision in humans $V(\lambda)$. It is clear that light can directly affect the circadian rhythm, remains to investigate how this happens. Some researches [3,24] shown that 500 lux of fluorescent light can be less effective in melatonin suppression compared to some other kind of light in quantity of just 3.5 lux. For that scope, the common definition of light in terms of lux appears inadequate. The measures of photometry are weighted on the photopic vision efficiency curve $V(\lambda)$, that mainly represent the sensibility of M-cones (medium wavelength, yellow) and L-cones (long wavelength, orange-red), that are the most concentrated in the central part of the retina, the Fovea. However, these receptors are very few influent on the circadian system, as demonstrated by Rea [25] and Brainard [26].

Another problem concerning light measure in lux is that this unit of measurement is used to describe the light that arrives on a surface, usually a work-plane, and not on the retina. Another evaluation can be done on light that goes on vertical surfaces

(vertical illumination E_h) that are more pertinent about the eye, but in this case also, we know that the main duty of vision can be various and oriented in multiple ways. The main part of the light goes to the retina coming from indirect light, reflected by many surfaces, but the colour (the reflected spectrum) of this light can modify widely the light radiation. Rea [27] states that the unit of measure that most likely can be used to quantify the radiation going on the retina is the spectral irradiance on the eye. We think that to correctly consider not only the spectrum, but also the multiple directions from which light can come, *it's more correct to consider spectral radiance*. Anyhow, if the spectral radiance is the correct parameter to consider, how can we establish the position (always in movement) of the observer and what spectral radiance will hit the retina?

Luminous Efficiency Functions

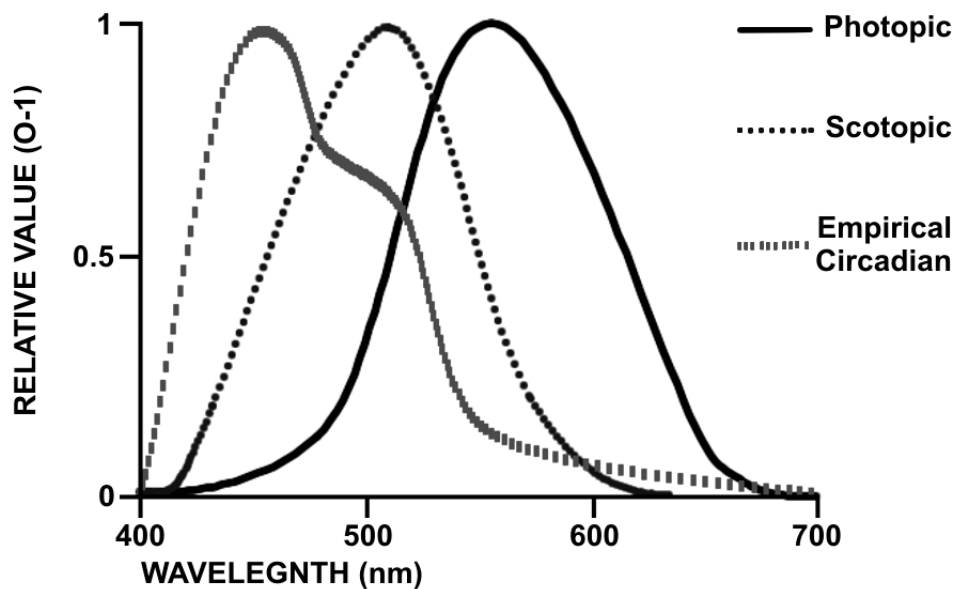


Fig. 1 – Curves comparison between Photopic, Scotopic and Circadian spectral sensitivity functions

3.1 The colour and the spectrum in Melatonin suppression

Another important aspect concerning the ability of light to affect the circadian system is his spectral distribution. The majority of photometric instruments are tuned onto the photopic spectral sensitivity curve $V(\lambda)$, defined by CIE in 1924. Recent experiments, using a monochromator [26,36], or wide band light sources [25,35], proved that spectral sensibility of melatonin suppression has a different behaviour, compared to photopic $V(\lambda)$ and scotopic $V'(\lambda)$ sensitivities.

In Figure 1 it is shown the spectral sensibility function determined by researchers [26,36]. There is a maximum at 446 nm (blue), and a minimum at 560 nm (yellow),

where we have maximum sensibility in photopic vision. So an intense yellow-reddish bright light (poor in blue), may be with a good colour rendering index (that also grant correct visibility), gives a very little contribution to melatonin suppression; however less than a daylight fluorescent lamp of equal energy. Rea [23] states that daylight is 2.22 times more effective than an incandescent lamp. As we look to these results, we can assume that new coloured light sources can be designed to have a maximum or minimum effect on the circadian system, for instance Blue LED (maximum effect) with emission peak at 460 nm or a Red LED (minimum effect) with peak at 630 nm. In this case Blue Led is 1200 times more effective than the Red one on melatonin suppression.

Using photopic vision curve $V(\lambda)$ and circadian sensibility $c(\lambda)$ it is possible to calculate luminous flux Φ_v or circadian flux Φ_c as it follows:

$$\Phi_v = K_{\max} \int_{380}^{780} \Phi_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda \quad \Phi_c = K_{\max} \int_{380}^{780} \Phi_{e,\lambda} c(\lambda) d\lambda$$

And relative photopic and circadian efficiencies (compared to used power P):

$$\eta_v = \frac{\Phi_v}{P} \quad \eta_c = \frac{\Phi_c}{P}$$

as Table 1 shows.

In the same Table there are also (parenthesis) efficiencies p and c normalized according to efficiencies of a fluorescent 3000K lamp:

$$p = \frac{\eta_v}{\eta_{v,3000K}} \quad c = \frac{\eta_c}{\eta_{c,3000K}}$$

and the relative comparison between circadian and photopic = c/p in the format proposed by Rea [23].

Confirming these results, a collaborator of Rea, Robert Pearson, demonstrated that 18 lux of blue light coming from LED are more effective in suppressing Melatonin than 450 lux of white light (mercury vapour). Another study [28] found that white light commonly used in buildings may be less effective than expected (concerning melatonin suppression). These studies also introduce the principle of colour opposition of chromatic vision (2 lines of red vs green and blue vs yellow) assuming that something similar can occur in the circadian system. In a situation of spectral equilibrium, there is no influence on the circadian system, as if there's no light at all. The most important meaning of this principle may be that the attitude of circadian system of being influenced by light, may be not adaptive to undistinguished frequencies but more sensible to blue light increments and to decrease of red-yellow light. Still remains the doubt that circadian opponency may follow other ways different from the visual one (Colour response – lateral

geniculate nucleus LGN / Circadian response – Suprachiasmatic Nucleus SCN) after leaving the retina. Following this observation, researchers carried out many tests, comparing monochromatic blue light coming from a LED (Color Kinetics, iCove - 18 Lux on the eye) with a multi-band light source, a clear bulb mercury lamp (General Electric, HR175A39 - 450 Lux on the eye). Results show that blue LED light, even if much less powerful, inhibits melatonin in a more effective way than the multi-band light (that also contained a peak near 446 nm) coming from the mercury lamp. This phenomenon is not completely explainable with the hypothesis of circadian photometry formulated by Rea, Brainard and Thapan.

Tab. 1 – Photopic and Circadian values calculated with Rea's method.

Light source	Photopic luminous efficacy lm/W	p	Circadian luminous efficacy lm/W	c	Relative ratio circadian to photopic lumens
Fluorescent 3000K	87	1.00	149	1.00	1.00
Fluorescent 4100K	87	1.00	275	1.85	1.85
Fluorescent 7500K	65	0.75	285	1.91	2.56
Metal halide	108	1.24	300	2.02	1.63
High pressure Sodium	127	1.46	115	0.77	0.53
Incandescent	15	0.17	32	0.21	1.25
Red LED 630nm	44	0.51	2	0.02	0.03
Yellow LED 590nm	36	0.41	10	0.07	0.17
Green LED 520nm	25	0.29	88	0.59	2.06
Blue LED 460nm	11	0.13	681	4.58	36.2
White LED 460nm + phosphor	18	0.21	90	0.60	2.91
Daylight 6500K	n.a.				2.78

It is possible to suppose the existence of a sort of opponency system, still to be discovered. It is also important to remember that monochromatic light is very different from multi-band light and these results cannot be generalized in the design of lighting fixtures.

Gall [29] instead proposes a curve of circadian sensibility directly obtained from Brainard's [26] and Thapan's [36] experiments that is slightly different from Rea's. Moreover, it proposes a different and more direct way to relate circadian and photometric values. It introduces the circadian version of flux Φ_c , Intensity I_c , Illuminance E_c , Luminance L_c , Exposure H_c and Efficiency η_c , where these values can be obtained from their photometric counterpart, with the formula:

$$X_c = a_{cv} \cdot X_v$$

Where a_{cv} is the circadian factor directly obtained with:

$$a_{cv} = \frac{K_m \int_{380}^{780} \Phi_{e,\lambda} c(\lambda) d\lambda}{K_m \int_{380}^{780} \Phi_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda}$$

Gall also proposes some rules (Table 2) that correlate activity of the circadian rhythms with colour temperature of light:

Tab. 2 – Relations between circadian factor , activities and colour temperature of light

Situation / Activity	a_{cv}	Light tonality
Relax and private non professional activities	< 0,4	Warm white < 3300K
Office, Industry, Street lighting, shops, markets special purposes lighting	0,3÷0,8	Neutral White 3300÷5300K
Optimal concentration on work, well-being associated with intense visual effort, therapy	> 0,7	Daylight > 5300K

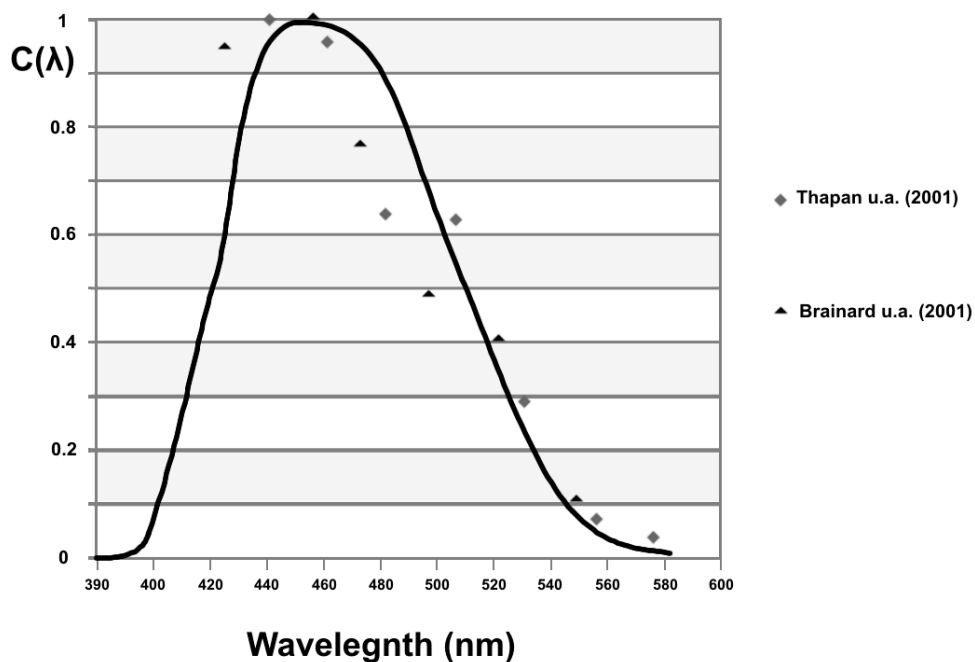


Fig. 2 – Curve of circadian sensibility proposed by Gall.

4. Colour constancy and circadian stimulation.

The retinal nature of circadian stimulation lead us to value the photopic colour constancy phenomenon. E. Land [30] in its Retinex theory, demonstrated that we see object in relative way, and not for they absolute physic characteristics. Our visual system tent to strongly diminish the perception of chromatic dominants

coming from light (that on the contrary remain visible in photography). Thus, we can discriminate surface colours even when the light spectrum heavily change. Even if not registered by our visual system, the light spectrum reflected by all surfaces contains a strong chromatic value coming from the main light [31] and exactly that chromatic spectrum should reach the fifth photoreceptor known as melanopsin.

The majority of experiments on melatonin suppression have been carried out using light-sources hitting the retina directly . These are conditions different from real life, where light reach the retina after many reflections and what reach the retina is an image and not a light-source pointing to the eye. Is the colour constancy phenomenon, valid for the photopic vision also applicable on light stimulation in the circadian system? Colour constancy is based on the analysis of differences among spatial distribution of the image parts. Studies had evidenced that under light exposition with equal energy, spectrum, timing and duration, there are no dependencies of the circadian system from spatial distribution of light reaching the retina. This has been tested using light boxes in various configurations [32,33,34], or with coloured light tables [25,35], or with monochromatic lights in Ganzfeld like instruments [26,36], or in a room lighted by fluorescent lights [37]. According to these researches the retina should act as a sensor that integrates on his surface radiations useful to the stimulation of circadian system. However, two recent researches had discovered that the amount of photoreceptors involved in circadian activities may be higher in the lower part of the retina [38,39]. Consequently, the more useful radiation for circadian purposes is the one coming from above. Probably this is due to evolutionistic reasons, since human beings always receive light from above (sun and sky).

5. Colour, spectrum and stimulation of others physiological factors.

Another aspect brought in evidence by Van Bommel is the relation between melatonin cycles, cortisol cycles and body temperature. The cortisol, also known as “stress hormone”, contributes to raise available sugars in blood (thus available energy), the immunity system efficiency, and protect from inflammations. Scheer [40] e Leproult [41] show that bright white light in the morning affect the cortisol (in saliva) and the vigilance state.

Other researchers [42] tested the central nervous system activity (with EEG, and AAG; Alpha waves Attenuation Coefficient) and the involuntary nervous system activity (with HRV: Heart Rate Variability measured with ECG). Sleepiness was also evaluated (subjective evaluation). Alpha waves comes from subconscious and have a frequency of 8-13 Hz, they comes from brain in a light sleep phase, a narcosis state or when eyes are closed. Alpha waves are wiped out when the subject receives visual input, with mental efforts or other states in which mind is actively used. During sleep Alpha waves are substituted by Delta waves. Results show that EEG changes as colour temperature of light changes. The values of AAC are conspicuously lower under 3000 K conditions than 5000 K conditions, and this

result suggests that lowering of central nervous activity is smoother under 3000 K lighting conditions. In a recent study [2], the effect of many parameters of light on the circadian cycle has proven their influence on melatonin, sleepiness, temperature distal-proximal of skin, inner body temperature and heart beat rate. Results show lowering of melatonin and increasing heart beat rate with 460 nm radiation; this does not happen with 550 nm radiation. Sleepiness (visually evaluated by a technician on the Karilinska Sleepiness scale 0-25) decrease clearly with a 460 nm and does not decrease with 550 nm. Inner body temperature increase with 460 nm and does not increase with 550 nm. Results confirm what known in research field so far. The only parameter that apparently is not related with the wavelength is skin temperature. Authors assume that the gradient distal-proximal of skin may be a sensible index of illuminance variation and/or represent a temporary attentive factor, independent by light stimuli.

Another fundamental aspect, is that quantity of light needed for having physiological effects is different by the quantity needed for visual purposes. In the optimal spectrum (peak on 446-484 nm) it is possible to obtain melatonin suppression also at lower level of luminosity: the problem is that this low level of luminosity does not match with typical visual working task. Some studies [43,44] demonstrate that with typical light levels in office environments, visual performances are already closer to maximum. Many other researches [32,25,33,45,37,26,36,35] however show clearly that full-spectrum white light inhibits melatonin as the quantity of light increases.

6. Timing aspects of light stimulation

It has been observed that with right and continuous light it is possible to unbalance in advance or to delay the circadian rhythm. In particular bright light in the waking time lowers melatonin and seems to generally improve performances. The same light in the evening may delay melatonin secretion, circadian rhythm and tendency to fall asleep. Other experiments show tendency of some subjects to increase light after lunch, maybe to contrast the sleepiness coming with digestion. It is proved that this effect is real but does not seem directly correlated with melatonin levels. In this sense the effects that artificial light can induce on the circadian system are lesser in presence of daylight, even if this can depend on climatic and geographic factors. Effects of an adequate artificial light during night are effective in melatonin suppression, stimulation of alert state, performances, but not on happiness (as it is in daytime).

The duration of light stimulation in order to influence circadian system is longer than the duration for visual purposes. That's because in addition to the time necessary to transmit nervous impulses to the suprachiasmatic nucleus there is also the time required from the pineal gland produce melatonin, to distribute the hormone in blood and the subsequent reception by body organs.

Lewy's [10] experiments showed that melatonin variation in blood occurs in 10 minutes after correct exposition to light. The return to precedent levels (typically

night levels) requires 15 minutes from the cessation of light stimulation [32,33]. Regarding dynamic variation of light, Hut [46], analyzed the aspects of temporal variation in lighting and observed that scaled variation are more effective than gradual variation in melatonin suppression.

References

1. Badia P, Myers B, Boecker M, Culpepper, J. 1991. Bright light effects on body temperature, alertness, EEG and Behavior. *Physiol Behav* 50(3): 583-588.
2. Cajochen C., Munch M., Koblalka S., Krauchi K., Steiner R., Oelhafen P., Orgu I S., and Anna Wirz-Justice, High Sensitivity of Human Melatonin, Alertness, Thermoregulation, and Heart Rate to Short Wavelength Light, *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 90(3):1311–1316, 2005
3. Lewy AJ, Wehr TA, Goodwin FK, Newsome DA, Markey SP. 1980. Light suppresses melatonin secretion in humans. *Science* 210(4475): 1267-1269.
4. Berson DM, Dunn FA, Takao M. 2002. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science* 295(5557): 1070-1073.
5. Hattar S, Liao HW, Takao M, Berson DM, Yau KW. 2002. Melanopsin-containing retinal ganglion cells: architecture, projections, and intrinsic photosensitivity. *Science* 295(5557): 1065-1070.
6. Provencio I, Rodriguez IR, Jiang G, Hayes WP, Moreira EF, Rollag M.D. Novel human opsin in the inner retina. *Journal of Neural Science* 2000; 20: 600-605.
7. Boyce P, Beckstead JW, Eklund NH, Strobel RW, Rea MS. 1997. Lighting the graveyard shift: The influence of a daylight-simulating skylight on the task performance and mood of nightshift workers. *Light Res Technol* 29(3): 105-134.
8. Figueiro MG, Rea MS, Boyce P, White R, Kolberg K. 2001. The effects of bright light on day and night shift nurses' performance and well-being in the NICU. *Neonatal Intens Care* 14(1): 29-32.
9. Monk TH, Buysse DJ, Reynolds CF, Berga SL, Jarrett DB, Kupfer DJ. 1997. Circadian rhythms in human performance and mood under constant conditions. *J Sleep Res* 6(1): 9-18.
10. Lewy AJ, Kern HA, Rosenthal NE, Wehr TA. 1982. Bright artificial light treatment of a manic-depressive patient with seasonal mood cycle. *Am J Psychiatry* 139(11): 1496-1498
11. Lack L, Wright H. 1993. The effect of evening bright light in delaying the circadian rhythms and lengthening the sleep of early morning awakening insomniacs. *Sleep* 16(5): 436-443
12. Van Someren EJW, Kessler A, Mirmirann M, Swaab DF. 1997. Indirect bright light improves circadian rest-activity rhythm disturbances in demented patients. *Biol Psychiatry* 41: 55-963

-
13. Miller CL, White R, Whitman TL, O'Callaghan MF, Maxwell SE. 1995. The effects of cycled versus noncycled lighting on growth and development in preterm infants. *Infant Behav Develop* 18(1): 87-95.
 14. Brandon DH, Holditch-Davis D, Belyea M. 2002. Preterm infants born at less than 31 weeks' gestation have improved growth in cycled light compared with continuous near darkness. *J Pediatr* 140(2): 192-199.
 15. Dauchy RT, Blask DE, Sauer LA, Brainard GC, Krause JA. 1999. Dim light during darkness stimulates tumor progression by enhancing tumor fatty acid uptake and metabolism. *Cancer Lett* 144: 131-136.
 16. Blask D, Sauer L, Dauchy R, Holowachuk E, Ruhoff M, Kopff H. 1999. Melatonin inhibition of cancer growth in vivo involves suppression of tumor fatty acid metabolism via melatonin receptor-mediated signal transduction events. *Cancer Res* 59: 4793-4701.
 17. Lockley S, Skene D, Thapan K, English J, Ribeiro D, Haimov I, Hampton S, Middleton B, von Schantz M, Arendt J. 1998. Extraocular light exposure does not suppress plasma melatonin in humans. *J Clin Endocrinol Metab* 83(9): 3369-3372.
 18. Eastman CI, Martin SK, Hebert M. 2000. Failure of extraocular light to facilitate circadian rhythm reentrainment in humans. *Chronobiol Int* 17(6): 807-826.
 19. Lindblom N, Hatonen T, Laasko M, Alila-Johansson A, Laipio M, Turpeinen U. 2000. Bright light exposure of a large skin area does not affect melatonin or bilirubin levels in humans. *Biol Psychiatry* 48(11): 1098-1104
 20. Koorengevel KM, Gordijn MC, Beersma DG, Meesters Y, den Boer JA, van der Hoofdakken RH, Daan S. 2001. Extraocular light therapy in winter depression: A double-blind placebo-controlled study. *Biol Psychiatry* 50(9): 691-698
 21. Lushington K, Galka R, Sassi LN, Kennaway DJ, Dawson D. 2002. Extraocular light exposure does not phase shift saliva melatonin rhythms in sleeping subjects. *J Biol Rhythms* 17(4): 377-386
 22. Pevet P, Nothorel B, Sloten H, Saboureau M. 2002. The chronobiotic properties of melatonin. *Cell Tissue Res* 309(1): 183-191
 23. Rea MS, Figueiro MG, Bullough JD. 2002. Circadian photobiology: An emerging framework for lighting practice and research. *Light Res Technol* 34(3): 177-190.
 24. Kronauer RE, Forger DB, Jewett ME. 1999. Quantifying human circadian pacemaker response to brief, extended and repeated light stimuli over the photopic range. *J Biol Rhythms* 14(6): 500-515.
 25. Rea MS, Bullough JD, Figueiro MG. 2001. Human melatonin suppression by light: A case for scotopic efficiency. *Neurosci Lett* 299(1-2): 45-48.
 26. Brainard GC, Hanifin JP, Rollag MD, Greeson J, Byrne B, Glickman G, Gerner E, Sanford B. 2001. Human melatonin regulation is not mediated by the three cone photopic visual system. *J Clin Endocrinol Metab* 86(1): 433-436

-
27. Rea M., Light - Much more than vision, International Symposium on Light and Human Health, CIE 2003
 28. Figueiro, Mariana G., John D. Bullough, Robert H. Parsons, and Mark S. Rea. 2004. Preliminary evidence for spectral opponency in the suppression of melatonin by light in humans. *NeuroReport* 15, no. 2: 313-16.
 29. Gall, D., Circadiane Lichtgrößen und deren meßtechnische Erfassung, *Licht* 7-8, 2002, 860-871
 30. Land E.H., *The Retinex Theory of Color Vision*, Scientific American, pp.108-128, 1977
 31. Castaldi G., Fallica C., Rossi M., Illuminazione degli alimenti - Una ricerca applicata, *Luce & Design*, n. 6, pp 84-89, ottobre 2004
 32. McIntyre IM, Norman TR, Burrows GD, Armstrong SM. 1989. Human melatonin suppression by light is intensity dependent. *J Pineal Res* 6(2): 149-156
 33. McIntyre IM, Norman TR, Burrows GD, Armstrong SM. 1989. Quantal melatonin suppression by exposure to low intensity light in man. *Life Sci* 45(4): 327-332
 34. Adler JS, Kripke DF, Loving RT, Berga SL. 1992. Peripheral vision suppression of melatonin. *J Pineal Res* 12(2): 49-52
 35. Rea MS, Bullough JD, Figueiro MG. 2002. Phototransduction for human melatonin suppression. *J Pineal Res* 32(4): 209-213
 36. Thapan K, Arendt J, Skene DJ. 2001. An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *J Physiol* 535(Pt. 1): 261-267
 37. Zeitzer JM, Dijk DJ, Kronauer R, Brown E, Czeisler C. 2000. Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression. *J Physiol* 526(Pt. 3): 695-702
 38. Lasko TA, Kripke DF, Elliot JA. 1999. Melatonin suppression by illumination of upper and lower visual fields. *J Biol Rhythms* 14(2): 122-125
 39. Glickman G., Hanifin J.P., Rollag M.D., Wang J, Cooper H., Breinard G.C., Inferior Retinal Light Exposure Is More Effective than Superior Retinal Exposure in Suppressing Melatonin in Humans, *Journal of Biological Rhythms*, Vol. 18, No. 1, 71-79 (2003)
 40. Scheer FAJL, Buijs RM. Light affects morning salivary cortisol in humans. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism* 1999; 84:3395-98.
 41. Leproult R, Colecchia EF, L'Hermite-Bale'riaux M, van Cauter E. Transition from dim to bright light in the morning induces immediate elevation of cortisol levels. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism* 2001; 86:151-57
 42. Noguchi H., Sakaguchi T., Effect of Illuminance and Color Temperature on Lowering of Physiological Activity, *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, Vol. 18, 1999, n. 4, pp.117-123

-
43. Weston HC. 1945. The relation between illumination and industrial efficiency: The effect of brightness contrast. Industrial Health Research Board of the Medical Research Council, Report 87. London: His Majesty's Stationary Office
 44. Eklund NH, Boyce PR, Simpson SN. 2001. Lighting and sustained performance: modeling data-entry task performance. *J Illum Eng Soc* 30(2): 126-141
 45. Brainard GC, Lewy AJ, Menaker M, Fredrickson RH, Miller LS, Weleber RG, Cassone V, Hudson D. 1988. Dose-response relationship between light irradiance and the suppression of plasma melatonin in human volunteers. *Brain Res* 454(1-2): 212-218
 46. Hut, R. Light stimulation of the circadian system: temporal variation effects. Abstract 062, Society for research and biological rhythms; 2002

On light colour effects for interior lighting Design: part II applications

M. ROSSI, C. FALICA, A. SINISCALCO, A. SEASSARO
DIP. IN.D.A.CO. – POLITECNICO DI MILANO
Via Durando, 38/A – 20158 Milano, Tel +390223995696, Fax +390223995698
maurizio.rossi@polimi.it

Abstract

In this paper we present the applicative aspects of a research currently under development in the Lighting, Photometry, Colorimetry and Perceptology Laboratory at the *Politecnico di Milano*. Starting from a detailed analysis of the state of art of research in this field, we collected and integrated evidences in order to synthesize a guideline about all the performance aspects a proper indoor lighting system should have.

1. Spatial aspects of the luminous stimulation

The first part illustrates all the scientific and experimental researches where the physiological effects of lighting on the human being are showed, both in terms of ergonomic and physical comfort and in terms of possible therapeutic effects. Then we wanted to comprehend the intrinsic relation between the human being and his environment, meant from the spatial, social and cultural point of view [1].

People spontaneously try to project their identity in the spaces they occupy, so that they can recognize themselves and control the spaces according to the principles of self-determination and territorial supremacy [2]. One of the important aspects of territoriality is that it enables to define a personal space where the individual can retire himself alone or with a limited number of people in order to achieve his psychological well-being. This space originates from the intrinsic needs of the human being: autonomy, control, expressiveness, emotions and feelings.

Starting from these premises, the research aims to deeply investigate the relationship between human being and its space, meant as a source and cause of behaviour in individuals or groups. From the studies of Lewin we learn the concept of *topological field*, which measures the space on a subjective scale (breaking with the Cartesian objective approach), that is a space endowed with values, imaginary, meant as the field of our desires.

In fact, every thing perceived by an individual in this field is potentially significant to him, and can therefore be valued as positive or negative depending on how it is effective in satisfying his specific needs.

Starting from the 70's J. Flynn [3] noted in his experiments that lighting, in addition to providing task visibility, also influences motivation, orientation, mood, social interaction and well-being [4]. For this the american professor introduced the

concept of “spatial illumination”. A first set of experiments was to record the perceptual feelings of observers as a function of the lighting arrangements in a space. For example, could the lighting make a space feel bright or dim, spacious or confining, public or private?

Flynn adopted a technique called Multidimensional Scaling (MDS) to determine the parameters causing psycho-perceptual feelings in a lighted space. These feelings are *Visual clarity, Spaciousness, Relaxation, Privacy and Pleasantness* of the environment. This research method led to a three-dimensions model for a lighting system, the first dimension being *Overhead/Peripheral*, the second *Uniform/Non-Uniform* and the third *Bright/Dim*.

Another group of experiments explored the effect of lighting arrangements on subjects’ choices of seating locations and wished to test the concept of the “moth effect”. A restaurant setting with adjustable high-contrast lighting was used and subjects were uninformed that an experiment was being conducted.

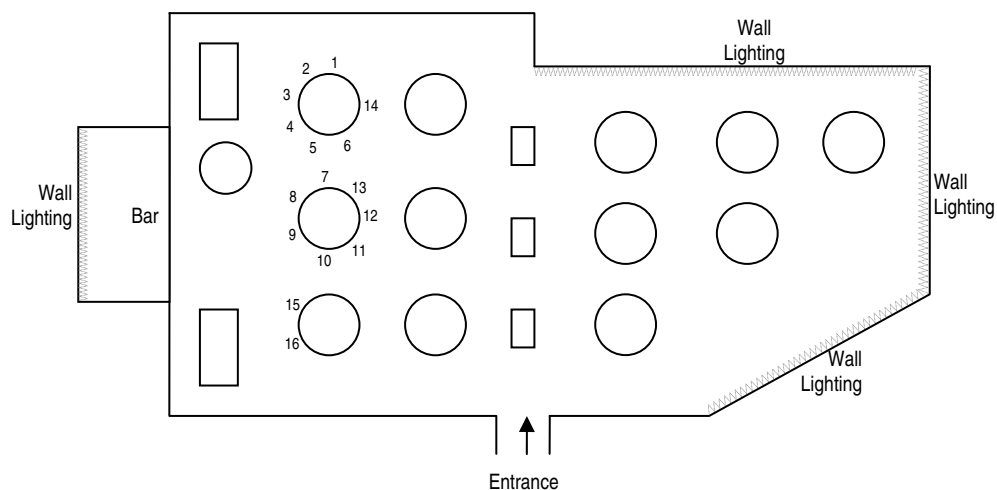


Fig. 1 – First lighting condition. Numbers indicate the order in which subjects seated in the restaurant.

Figure 1 shows the first lighting situation. The area to the right of the center columns was lighted by diffuse wall lighting on the three walls. The area to the left was unlighted, except for the beverage bar. The order of seat selection was recorded (indicated by the numbers in the figure). The results revealed that subjects preferred to seat in the unlighted area and facing the lighted area.

The lighting condition for the second experiment is shown in Figure 2. A drapery was drawn between the two halves of the room and there was no lighting in the area on the right. The area on the left was lighted by diffuse wall lighting on the

rear wall opposite the entrance stairs. Again, the numbers show that subjects preferred to seat in the space farthest from the lighted area but facing it.

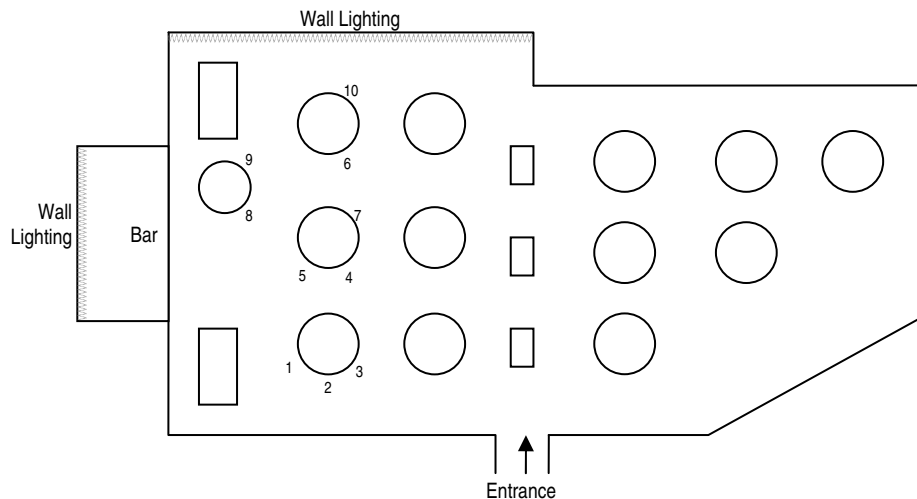


Fig. 2 – Second lighting condition. Numbers indicate the order in which subjects seated in the restaurant.

The result of this experiment brings into question the theory of the “moth effect”. The subjects avoided lighted areas, but did choose to face them. Thus a corollary of the moth effect might be proposed, e.g., that humans gravitate toward lighted spaces, but choose to face them rather than moving into them [5,6,7].

2. Relationship between light spectrum and activity

It was in the first half of last century that the relationship between the illuminance level in a room and the colour temperature of the light sources started drawing interest. The graph published by Kruithof [8] in 1941 describes the pleasantness of lighting related to two variables: illuminance level and colour temperature (Figure 3). The conclusion is that for illuminance levels above 400 lux the preferred colour temperatures are the closest to daylight (5000÷10000K), or “cool white”. While for low illuminance levels (10÷200 lux), the preferred colour temperatures vary in the range 2500÷3800K, “warm white”.

Many researches were conducted on the spectral properties of light sources and their apparent brightness [9]. Many studies show that the spectral and chromatic properties of lamps influence the space perception. The apparent brightness results from the activity of both the visual answer systems, the magnocellular (a-chromatic vision) and the parvocellular (chromatic vision). The photometric measurements of illuminance consider the a-chromatic system only, and they do not take into account the chromatic information that have a fundamental effect on our perception

[10,11]. In the first part of the research the bio-physiological effects of light on human beings are shown. We noted that many researches stress the influence of certain wavelengths on the circadian rhythm, but they do not consider the psycho-perceptual issues.

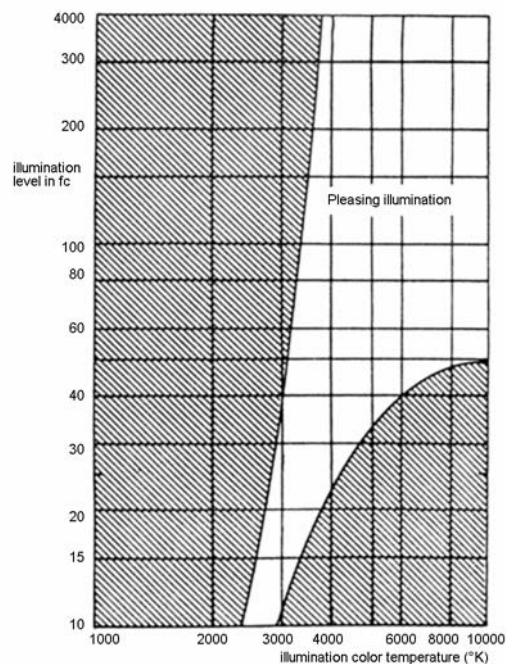


Fig. 3 – Kruthof curves

The research undertaken by S. Fleischer and others [12] starts from Kruthof's considerations and integrates them with the spatial distribution of luminaires, the external atmospheric conditions and the time of day (Figure 4). The following external conditions were taken into account: sky conditions and circadian rhythm (encoded as time of day) and type of activity. With reference to the lighting situations dependent on time of day and on sky condition, daylight and artificial light were combined to create so-called lighting scenarios. The four lighting scenarios are subdivided into two scenarios (A and B) dependent on time of day, and two scenarios (C and D) dependent on the sky condition. The artificial lighting consisted of pendant luminaires fitted with fluorescent lamps. The direct and indirect components from these luminaires could be adjusted independently from one another via a bus system. Two test series were performed, the first with fluorescent lamps with cool white colour (4000K) for both the direct and indirect component and the second with daylight white (6500K) and warm white (3000K) for the direct and indirect components alternatively. The effect of the room, the suitability of the lighting situation for the work to be done and the emotional effect were evaluated using a questionnaire according to the three parameters of Pleasure, Arousal and Dominance, that can be represented on a Cartesian diagram, as P, A

and D and considered as dependent measures [10,13]. These coordinates refer to the study conducted by Valdez and Mehrabian who studied the effects of colour on emotions. The colour stimulus was divided into the three parameters which describe it in perceptual terms: *hue*, *saturation* and *brightness*. The three parameters (considered as *independent variables*) were then isolated and studied individually, and this analysis method enabled to understand the single effects caused by colours on the emotional status, referred to the three above parameters. The aim of the experiment was to understand whether the manipulation on the independent measures has any effect on the dependent measures or not.

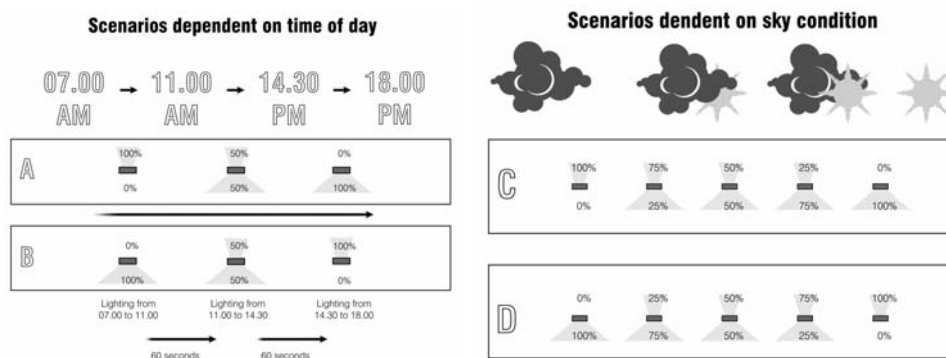


Fig. 4 – Scenarios A and B are dependent on time of day. Scenarios C and D are dependent on sky condition. In both cases the percentage data refer to the proportion of the direct and in direct component in the illuminance on the working plane.

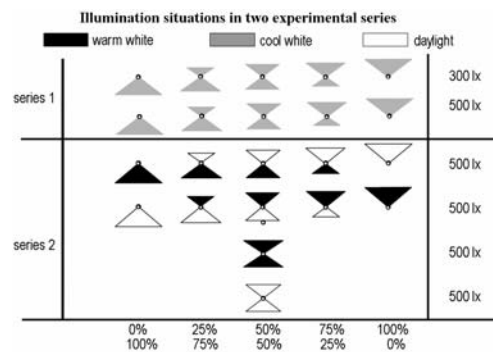


Fig. 5 – Overview of the variable parameters of the lighting situations for experimental series 1 and 2: illuminance levels on working plane; light colour; weighting of indirect and direct components.

The results showed a strong relationship between emotion and colour (brightness and saturation). Surprisingly, on the other hand, the relationship between hue and emotion is rather weak, especially for the effects on Arousal and Dominance. A short-term increase in the direct component may lead to an increase in vigilance

and therefore also to an improvement in working performance, but in the long period it would lead to a reduced subjective sense of well-being or to a negative influence on the person's emotional state with reference to the factor of Pleasure. Moreover, there are applications in which a relaxing effect is desirable. The same results in terms of working performance can be realised in the case of activities for which a larger indirect component is required for ergonomic reasons. This experiment states once more the efficacy of good lighting on working performance. The parameters taken into account were various: the type of working place, the direction of light dependent on time of day and sky conditions, the colour of light sources and daylight integration.

2.1 Light and UV exposure hazards

The CIE researched cases related with acute human retinal injuries mostly connected to blue light hazard, typically referred to as BLH (Blue Light Hazard) [14]. They established the Threshold Limit Value (TLV) and BLH action spectrum recommended in the 70's by ACGIH, *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*, and more recently, after completion of the work of TC 6-14, by the *International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)*.

Tab. 1 – Exposure limits and spectral efficacy (weighting factor S_{λ}), at different wavelengths.

Wavelength (λ in nm)	Exposure limits (J/m^2)	Weighting factor (S_{λ})	Wavelength (λ in nm)	Exposure limits (J/m^2)	Weighting factor (S_{λ})
180	2500	0.012	300	100	0.300
190	1600	0.019	310	2000	0.015
200	1000	0.030	320	2.9×10^4	0.0010
210	400	0.075	330	7.3×10^4	0.00041
220	250	0.120	340	1.1×10^5	0.00028
230	160	0.190	350	1.5×10^5	0.00020
240	100	0.300	360	2.3×10^5	0.00013
250	70	0.430	370	3.2×10^5	0.000093
260	46	0.650	380	4.7×10^5	0.000064
270	30	1.000	390	6.8×10^5	0.000044
280	34	0.880	400	1.0×10^6	0.000030
290	47	0.640			

This table shows the potential for photo retinitis resulting from direct eye exposure to such sources as tungsten-halogen lamps, high-intensity discharge lamps, xenon short-arc lamps. UV-exposure TLVs expressed in energy per surface unit (J/m^2), and referred to non-protected organs, established by national standards or proposed by international organizations, e.g. ICNIRP/IRPA (*International Radiation Protection Association*) (Table 1). As shown in this table, the hazard is inversely proportional to wavelength. UVs are especially harmful, while a limited injury hazard is also associated to visible blue radiation.

The actual Standard EN 14255:2005 [15], *Measurement and assessment of personal exposures to incoherent optical radiation*, subdivided into four sections,

evaluates exposure to radiation in both internal and external working areas, lighted by artificial light. The purpose of first section is to specify the measuring and evaluation procedures for exposure to UV radiation in workplaces. The second section defines the procedures to measure visible and infrared (IR) radiation, whereas the third one is dedicated to sunlight radiation. Terminology and related measuring quantities are the content of section four.

Radio frequency, microwave, IR radiation devices are used in some workplaces, with high exposure hazard for the human body. An evaluation for exposure to non-ionizing radiation is generally based on the machinery classification supplied by manufacturers according to international standards mentioned in the Standard EN 12198/2002 [16] for radiation emitted by machinery and by the Standard CIE S009 [17].

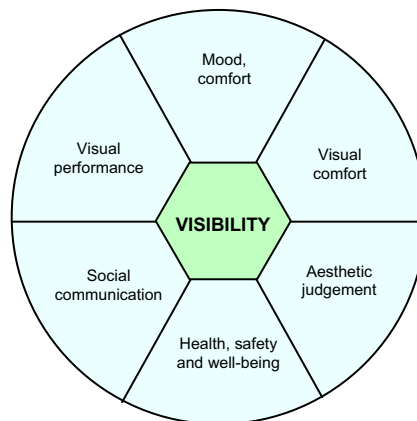


Fig. 6 – Human needs affected by light

3. Project methods vs human needs

As previously illustrated, light does not only influence human bio-physiological aspects but also markedly determines our perception of the environment by conditioning our emotions. Many researches have evidenced that emotional, perceptive as well as activity and health conditions are affected by light. The main human need is visibility, from which further human needs depend: visual performance, mood and comfort, aesthetical aspects, health, safety, well-being and social interaction (Figure 6).

Visibility is the capability of getting information from whatever comes within the field of vision of an individual. This is why a good lighting quality is a basic feature. The main variables affecting human visibility are contrast, luminance, duration, visual area extent and age.

Today lighting design takes into account both quantity and quality characteristics. Quantity values are supplied by standards referred to the many application fields

that for a long time have identified the illuminance level as the main lighting project, since ever associated to productivity and safety factors in human activities. Emphasis is now being turned toward an anthropometric dimension oriented to “designed perception” [18]. The approach to such a target is a method that considers not only providing a suitable illumination of the visual task, but also the aptitude to describe and plan the lighting effects of a whole space. To achieve this purpose it is necessary to increase the project quantity parameters. The illuminance level that till now has described the technical performance of an installation is now associated to another important lighting parameter, the luminance, referred to the requirements of complex visual tasks. This value relates light to the chromatic and reflectance characteristics of a lighted environment. By mean of luminance value it is possible to establish the brightness and contrast ratios between visual task and background involving the single elements in a scene or between objects and surrounding areas. This will establish a relationship between the lighting system and the architectural concept as well as the lighted objects in the environment through the analysis of the luminance ratios in the overall space.

The traditional method of lighting design based on minimum illuminance levels consists in identifying the space intended to visual tasks, and defining the different activity areas in order to develop a “customized” lighting layout. The project method based on luminance levels does not clearly define spatial regions where the whole environment is conventionally split, but assesses the luminance ratios between the visual task and the surrounding areas, and the balance of luminances within a single area. It is therefore complex to propose a unique reference set for an installation project inasmuch as the luminance is the result not only of the illuminance levels and surface reflectances, but also depends on the properties of materials in that space. On the other hand, it is well-known that the real difficulty depends on the fact that the luminance photometric parameter does not exactly match the brightness/lightness perceived by the human visual system [19].

The limits of quantity methods require the adoption of new design criteria including human-related quality aspects, although they maintain an objective validity in evaluating workplaces lighting design .

The quality approach matches a variety of human needs and analyses the whole environmental context, trying to acquire as much information as possible, namely how space is utilized, which is the user typology and the ambient style. We can then identify three major design analysis factors:

- analysis of space utilization;
- psychological requisites connected to user need for a higher visibility of the environment;
- architecture as a light object and shape: style characteristics are enhanced.

All of this may happen if one of the major requirements is achieved, i.e. *user-oriented* lighting design, regarded at as simple and sustainable. Based on this, all elements are related to the space design and its parts, to the environment modularity and architectural as well as stylistic rhythms, with lighting solutions that help enhance such quality aspects.

4. Spectro-chromatic and circadian performance of light sources

In addition to the above considerations, it is interesting to examine by characteristics and performance the different types of lighting sources related to the satisfaction of some requirements that make them physiologically compatible. In fact, the human body reacts by hormonal stimulation when exposed to determined illuminance and luminance levels, and when light emission reaches peaks of about 440-470 nm, thus affecting our circadian system. Light design should consider these physiological relationships by associating them to technical-functional installation requirements, standard prescriptions and updated trends in designing modern work sites.

We can therefore notice a difference between current designing methods and a recommended approach to quality in lighting design in respect of physiological performance.

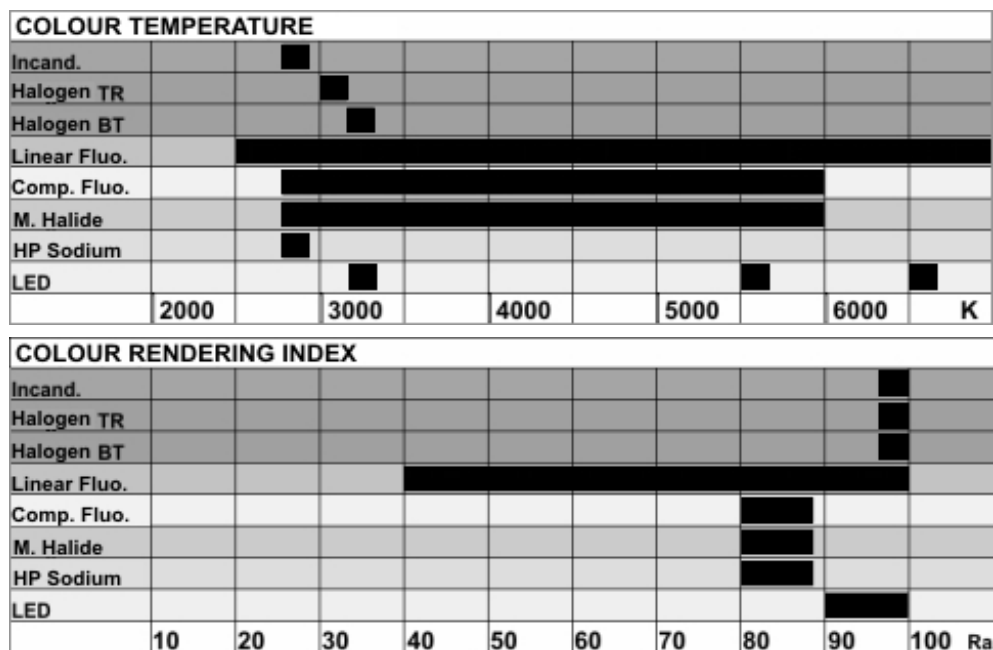


Fig. 7 – Summary chart of colour rendering index and colour temperature for most market-available lamp types.

Regarding circadian photometry, Rea [20] and Gall [21] pointed out how fluorescent lamps with a cooler white colour are more active in suppressing sleepiness symptoms with a circadian efficiency of 285 lm/W. Fluorescent lamps with colour temperature of 4100K (87 lm/W luminous efficiency) achieve a circadian efficiency of 275 lm/W, that drops to 149 lm/W with a warmer white

colour (3000K). These lamps, intended for offices, hospitals, public premises and residences, emit a part of “blue light” in the 410-to-460 nm wavelength range, close to sunlight. Other positive features of these sources are: good adjusting attitude (*dimming*), wide colour temperature range, good efficiency and pretty long average lifetime. In this category, a special place is assigned to fluorescent lamps T16 (so called according to the current German designation ZVEI/LBS) thanks to their higher and higher performance level.

The ever growing technological innovation in Led sources, used for many years in signalling, today allows to obtain a white light that can represent an alternative to traditional sources. Most LEDs currently available in the market still have a significant blue component of “white light” (radiation between 440 and 470 nm), thus making them efficient from the circadian viewpoint.

5. Conclusions

By now it has been demonstrated that artificial light can affect humans on physiological and psychological aspects. The influence on the circadian system takes place mainly through melatonin production or reduction via neural pathways other than vision's. There exists a relationship between melatonin cycles, cortisol and body temperature that are affected by light. The colour temperature may affect cerebral Alpha waves, i.e. a condition that controls the alertness and sleepiness threshold. All these effects can also be achieved by low light intensity and proper spectral distribution. Proposals have been suggested regarding a circadian photometry in order to evaluate the properties of light sources (circadian efficiency parameter η_c) in respect of melatonin regulation and the relationship between light colour temperature, circadian factor a_{cv} , and expected visual tasks. Some early experiments seem to demonstrate that also reflected light (influenced by surface colours) can produce similar effects. The circadian system takes therefore into consideration the actual light spectrum that reaches the retina while ignoring the vision-typical colour constancy. The light coming from top and hitting the retina on its lower half is more important to stimulate these factors. These elements show the effects produced are the result of interaction between light and chromatic and reflective properties of environments. Timing factors of exposure to light are also important, and depend on the circadian system inertia in the production and distribution of melatonin in the human body. Sudden intense stimulations are more effective than gradual light variations.

Experiments carried out by Kruitof, Flynn, Fleischer and Mehrabian/Valdez offer exciting answers also in the problematic assessment of psychological light- and environment-induced aspects. Stimulus factors depending on spatial distribution (horizontal and vertical) of luminances and relative observer position have been determined for complex psychological sensations such as apparent brightness, spaciousness, relax, privacy and pleasure. Relationships between light quantity, colour temperature, light spatial distribution, present conditions of natural light and

complex sensations such as well-being, efficiency, relax and discomfort have been observed by using the PAD (Pleasure, Arousal, Dominance) scale.

Due to these reasons, a lighting design based on quantity evaluation only seems more and more limiting. In fact, design innovation involves more complex factors such as the environmental luminance assessment, the chromatic properties of surfaces and the analysis of human needs. Lighting design starts from an analysis of the space utilization functions, user psychological demands and dimensional as well as aesthetical aspects of architecture.

With regard to these notes, light sources allowing automatic or manual adjustment of luminous intensity, a wide choice of colour temperatures and a good colour rendering index are more appropriate. In order to avoid any injury to the retina, sources with a prevailing emission of blue and violet wavelengths are not recommended. Modern fluorescent lamps, linear and compact, cope with these performances and also allow the realization of RGB systems to mix colours. In particular, compact fluorescent lamps could allow the design of accent lighting solutions.

The spectrum may be widened by integrating white light LEDs, thus providing circadian performance in short wavelengths and accent light.

The possibility of implementing an emotional lighting system is obtained by controlling other performances: non uniformity of lighting on vertical surfaces (via projected shadow and dim light), a customized lighting control (by means of intuitive interfaces) and the possibility of detecting current lighting conditions in real time, also outdoor, via proper sensors. In addition to artificial light control it is desirable a suitable control of natural light luminances by means of curtains, shutters or polarized glass panes that may be automatically actuated by an integrated lighting system and expressly designed for the space considered.

References

1. Pizziolo G., Micarelli R., *L'Arte delle relazioni*, Alinea, Firenze, 2003
2. Baroni M. R., *Psicologia ambientale*, Il Mulino, Bologna, 1998
3. Flynn J.E., *A study of lighting as a system of spatial cues*. EDRA-6 workshop on The Psychological Potential of Illumination. University of Kansas, April 1975
4. Publication CIE 158/2004 - *Ocular Lighting Effects on Human Physiology and Behaviour*
5. Flynn, J.E. *A study of subjective responses to low energy and non uniform lighting systems*. *Lighting Design and Application*, 7, 1977, pp.167-179
6. Taylor L.H., Socov E.W., *The movement of people towards lights*, *Journal of the Illuminating Engineering Society*, April 1974, pp. 237-241
7. Yorks P., and Ginthner D., *Wall lighting placement: effect on behaviour in the work environment*, *Lighting Design and Application*, n.17, 1987, pp. 30-39

-
8. Davis, Robert G. and Dolores N. Ginthner, *Correlated color temperature, illuminance level, and the Kruithof curve*. **Journal of the Illuminating Engineering Society** 19(1) 1990, pp.27-38
 9. Fotios S.A., *Lamp colour properties and apparent brightness: a review*, **Lighting Research Technologies**, n.33,3, 2001, pp.163-181
 10. Valdez P, Mehrabian A., *Effects of color on emotions*, **Journal of experimental psychology**, Dicembre 1994, pp 394-409
 11. Publication CIE 166, *Cognitive Color*, **Commission Internationale de l'clairage**, 2005
 12. Fleischer S. Krueger H., Schierz C., *Effect of brightness distribution and light colours on office staff – Results of the “Lighting Harmony” project*, **The 9th European Lighting Conference “Lux Europa 2001”**, Reykjavik, 18-20 giugno 2001
 13. Mehrabian A, Russell JA., *The basic emotional impact of environments*, **Perceptual and Motor Skill**, n.38, 1974, pp.283-301
 14. CIE 138-1/2000 - *Blue Light Photochemical Retinal Hazard*
 15. UNI EN 14255-1:2005 *Misurazione e valutazione dell'esposizione personale a radiazioni ottiche incoerenti - Parte 1: Radiazioni ultraviolette emesse da sorgenti artificiali nel posto di lavoro*
 16. EN 12198-2:2002, *Safety of machinery. Assessment and reduction of risks arising from radiation emitted by machinery. Radiation emission measurement procedure.*
 17. Standard CIE S 009/E:2002 - *Photobiological Safety of Lamps and Lamp Systems.*
 18. Waldram J.M., *The Lighting of Gloucester Cathedral by the “Designed Appearance” Method*, **Transactions of the Illuminating Engineering Society**, 1959, Vol 24 n.2
 19. Rossi M, D. Gadia, D. Marini and A. Rizzi, *Towards Image-Based Measurement of Perceived Lightness applied to Paintings Lighting*, **Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage -VAST, Short & Project Papers Proceeding**, pp 114-119, November 2005
 20. Rea MS, Figueiro MG, Bullough JD. 2002. *Circadian photobiology: An emerging framework for lighting practice and research*. **Light Res Technol** 34(3): 177-190
 21. Gall, D., *Circadiane Lichtgrößen und deren meßtechnische Erfassung*, **Licht** 7-8, 2002, 860-871

Rappresentazione di informazioni testuali sul Web: la leggibilità come requisito in uno strumento per la scelta dei colori

SILVIA ZUFFI

ITC, Consiglio Nazionale delle Ricerche
via Bassini 15 - 20133 Milano, Tel. 02 23699557, Fax 02 23699543
zuffi@itc.cnr.it

GIORDANO BERETTA

Hewlett-Packard Laboratories
1501 Page Mill Road 1203, Palo Alto, CA 94304, USA, Tel. ++650-857-6713
giordano.beretta@hp.com

CARLA BRAMBILLA

IMATI, Consiglio Nazionale delle Ricerche
via Bassini 15 - 20133 Milano
carla@mi.imati.cnr.it

Abstract

Nella progettazione di pagine Web uno dei problemi fondamentali è la scelta delle combinazioni dei colori di testo e sfondo per la visualizzazione di informazioni testuali. Tali colori devono essere scelti in modo da assicurare la leggibilità del testo in caso di riproduzione su diversi dispositivi, sotto varie condizioni d'osservazione e con riferimento ad una varietà di utenti che includa anche coloro che hanno un'anomala o ridotta visione del colore. In questo lavoro presentiamo uno strumento per la scelta di combinazioni di colori "leggibili" che implementa alcuni dei numerosi criteri di scelta ad oggi proposti. Nell'ambito della realizzazione dello strumento, sono stati eseguiti test di valutazione di leggibilità per definire empiricamente un criterio basato sulla differenza in termini di chiarezza.

1. Introduzione

Nel design di pagine Web, uno dei problemi fondamentali è la scelta delle combinazioni di colori di testo e sfondo per la visualizzazione di informazioni testuali. Tali colori devono essere selezionati in modo da assicurare la leggibilità del testo in caso di riproduzione su diversi dispositivi, sotto varie condizioni d'osservazione e con riferimento ad una varietà di utenti che includa anche coloro che hanno un'anomala o ridotta visione del colore.

In fase di progettazione, la selezione dei colori deve essere eseguita su dispositivi calibrati e in condizioni di visione controllate ed è opportuno considerare gli aspetti più critici della riproduzione del colore, cioè le caratteristiche dei dispositivi e le condizioni di osservazione. Un dispositivo di visualizzazione è caratterizzato dal proprio spazio colore, in termini di numero di colori rappresentabili, dalla luminosità, dal punto di bianco e dalla gamma. Le condizioni di visione, che influenzano l'apparenza del colore, sono caratterizzate dal colore dello sfondo, dall'illuminazione nell'ambiente, dal punto di bianco e dall'entità della riflessione della luce ambientale sullo schermo (riflessioni di velo). Per affrontare il problema della riproduzione del colore sul Web, in cui le caratteristiche elencate possono essere le più varie, è stato definito uno spazio standard, sRGB¹, per il quale sono specificate le caratteristiche dello schermo e le condizioni di osservazione con riferimento ad un dispositivo di medie caratteristiche e condizioni ambientali plausibili.

Nel caso di selezione di colori per la visualizzazione di informazioni testuali sul Web, c'è un ulteriore aspetto da considerare e cioè la possibilità che l'utente abbia una anomala visione del colore (color vision deficiency, CVD), tenuto conto del fatto che tali anomalie interessano una percentuale significativa della popolazione (8%). Tali anomalie possono riguardare lo spostamento del picco della curva di sensibilità dei coni rispetto alla visione normale (tricromati anomali), l'assenza di uno dei tre tipi di coni (dicromati, incluso il caso di picchi coincidenti) o l'assenza dei coni (acromati). Nel caso di tricromati anomali, è possibile manipolare le impostazioni dello schermo per compensare lo spostamento². Di conseguenza il problema della leggibilità si può limitare ai dicromati e acromati.

In questo articolo trattiamo il problema della scelta dei colori per la visualizzazione di informazioni testuali considerando sia le caratteristiche dei dispositivi e le condizioni di osservazione, che gli aspetti di limitata visione a colori, con lo scopo di definire regole di progettazione per i Web designer. Le nostre valutazioni sono basate sulla analisi della leggibilità, definita in termini di facilità nella lettura di un documento e quantificabile con indicatori di velocità o correttezza nella lettura³.

In passato sono stati eseguiti molti studi sulla leggibilità con riferimento a differenti condizioni e tipologie di osservatori, utilizzando in prevalenza dispositivi di visualizzazione monocromatici, in assenza, ai tempi, di display a colori di uso comune. Molti di questi studi si sono focalizzati sul contrasto di luminanza, una misura della differenza in luminosità tra testo e sfondo. Studi di Legge⁴ e altri hanno osservato che il contrasto in luminanza è alla base della leggibilità, nonostante testi leggibili si possano realizzare anche con colori ad uguale luminanza ed elevato contrasto cromatico^{5,6}.

Poiché la nostra acuità visiva è superiore per variazioni di luminanza che di tinta o croma, le differenze tra colori in termini di tinta e croma non sono adeguate in presenza di dettagli⁷. Inoltre, poiché il contrasto in luminanza è percepito anche da osservatori affetti da CVD, una buona strategia per garantire la leggibilità è assicurare, tra testo e sfondo, una differenza significativa in termini di luminanza. I dispositivi attuali possono essere facilmente regolati e la luminanza di uno stimolo determinata ragionevolmente bene⁸. Dalla luminanza può poi essere derivato il chiarore percepito.

In letteratura sono stati proposti molti criteri per la leggibilità^{9,10}, recentemente oggetto di valutazione da parte del World Wide Web Consortium (W3C) per la definizione di regole di design per l'accessibilità¹¹. In questo contesto è stato proposto, come linea guida W3C, un algoritmo per verificare la leggibilità di combinazioni di testo e sfondo¹². L'algoritmo calcola la brillantezza con l'Equazione 1, che corrisponde alla luminanza nello spazio NTSC, e indica 125 come soglia minima di differenza. La differenza di colore è calcolata con l'Equazione 2, dove i pedici F e B indicano rispettivamente foreground (testo) e background (sfondo). La soglia per la differenza è indicata in 500¹¹.

$$Y = (299 \cdot R + 587 \cdot G + 114 \cdot B) / 1000 \quad (1)$$

$$\Delta H = (\max(R_F, R_B) - \min(R_F, R_B)) + (\max(G_F, G_B) - \min(G_F, G_B)) + (\max(B_F, B_B) - \min(B_F, B_B)) \quad (2)$$

L'algoritmo considera la differenza in luminanza, che tuttavia non è correlata a nessun attributo percettivo. Inoltre è basato sullo standard NTSC che non è rappresentativo dei dispositivi moderni: le cromaticità dei fosfori dello standard NTSC infatti sono basate sulla raccomandazione ITU-R BT.601-4, mentre lo standard video RGB attuale è ITU-R BT.709, su cui si basa anche lo standard sRGB¹³.

In questo contributo presentiamo uno strumento per la selezione dei colori basato sull'Atlante di Munsell, di cui può essere eseguita una esplorazione per la definizione di coppie di colori soddisfacenti un criterio di leggibilità tra quelli implementati. Lo strumento considera il problema della gamma del dispositivo implementando un sistema di simulazione dell'anteprima basato sui profili colorimetrici ICC, e permette la modellazione di riflessioni di velo di varia entità.

Alla realizzazione dello strumento ha fatto seguito un esperimento di validazione di un criterio euristico proposto da uno degli autori¹⁴, il quale ha indicato in 27 unità CIELAB la soglia per la discriminabilità tra background e foreground. Lo spazio sRGB è stato scelto come riferimento con l'obiettivo di definire i criteri in un contesto di tipico utilizzo sul Web. Gli esperimenti sono stati eseguiti in condizioni di osservazione controllate per un insieme di 6 osservatori con normale visione a colori. La valutazione della leggibilità è stata basata sul tempo impiegato dall'utente nel contare l'occorrenza di una lettera in un testo.

2. Lo strumento per la selezione dei colori

Lo strumento per la selezione dei colori permette la selezione di combinazioni di colori di foreground e background in conformità a criteri di leggibilità. Lo strumento è basato sull'Atlante di Munsell, un sistema utilizzato spesso per la definizione dei colori che definisce uno spazio percettivamente uniforme, le cui dimensioni sono *hue* (tinta), *value* e *chroma* (croma). Sono definite cinque tinte principali, rosso, giallo, verde, blu e viola, e altre cinque tinte che derivano dalla loro composizione. *Value* è un intero nell'intervallo 0 (nero) e 10 (bianco). *Chroma* è la distanza radiale dall'asse acromatico.

Le principali funzionalità dello strumento sono: l'implementazione dei criteri di leggibilità, il supporto per la definizione dei profili del dispositivo la simulazione delle bozze di stampa (mediante utilizzo della libreria littleCMS¹⁵); la simulazione delle riflessioni di velo e la simulazione di CVD^{16,17}. La Figura 1 mostra il layout dell'interfaccia utente.

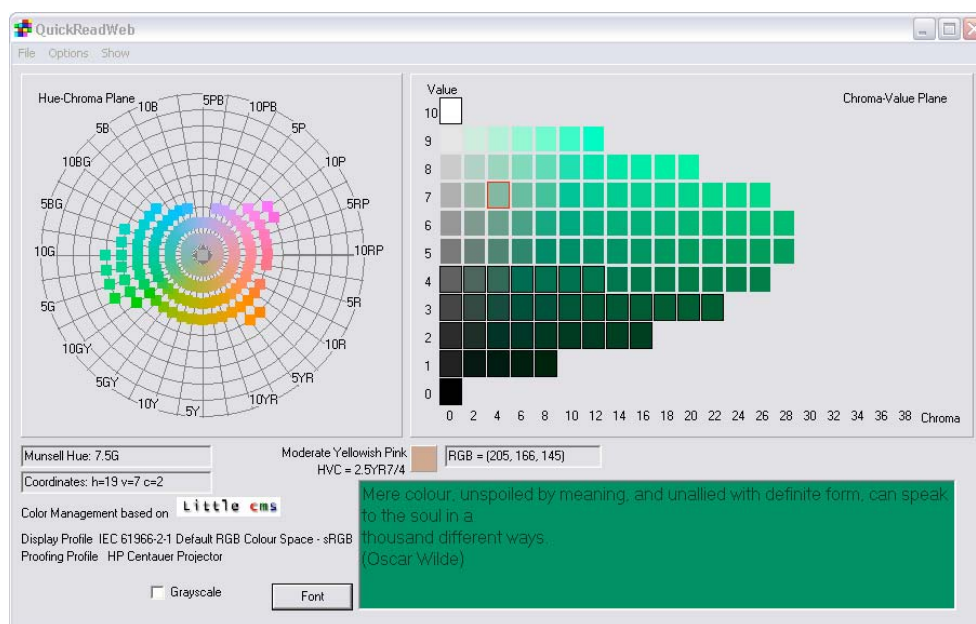


Fig. 1. Layout dello strumento per la selezione dei colori.

Nella parte in alto a sinistra della finestra è riportato il piano tinta-croma dell'atlante di Munsell. Selezionando con il mouse una tinta sulla ruota, il corrispondente piano value-chroma viene visualizzato sulla destra. La selezione dei colori avviene su questo secondo piano. Quando l'utente seleziona un colore sul piano value-croma, il sistema evidenzia l'insieme dei colori valutati ammissibili rispetto al criterio di selezione scelto (Fig. 2). Ogni colore evidenziato risulta cioè

sufficientemente discriminabile dal colore selezionato per assicurare la leggibilità di una pagina in cui la coppia di colori sia il background e foreground.

Il criterio di leggibilità può essere scelto dall'utente tra: differenza in chiarore ΔL^* ; distanza colore ΔE_{ab}^* ; contrasto di Michelson; differenza in luminanza (algoritmo W3C); differenza in tinta (algoritmo W3C); ΔE_{94}^* ; CIEDE2000; contrasto in luminanza derivato dalla formula ANSI/HFS 100-1988⁹; contrasto in luminanza derivato dalla formula ISO¹⁰. L'utente può indicare una soglia di sua scelta per ciascun criterio considerato.

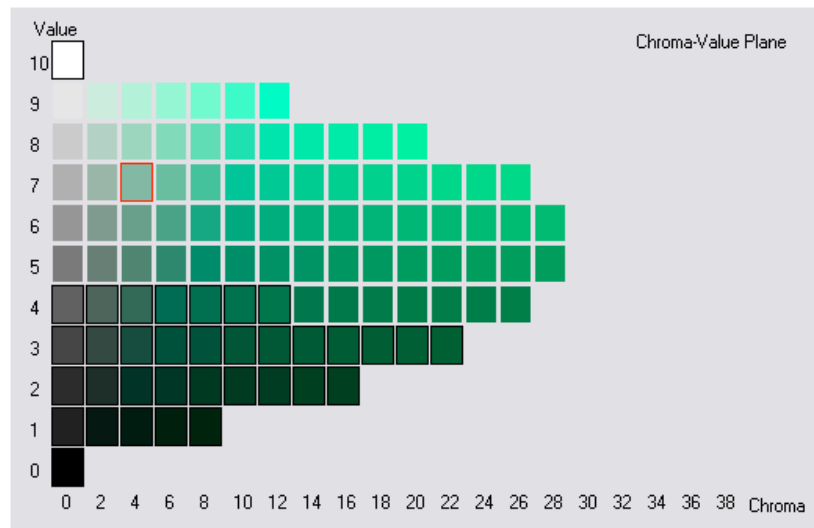


Fig. 2. Il piano chroma-value per la selezione del colore

Oltre alla scelta del criterio di leggibilità (Fig. 3a), l'utente può selezionare ulteriori modalità e parametri per simulare il velo, per eseguire una anteprima di come appariranno i colori su un altro dispositivo (es. simulare come i colori appariranno riprodotti con un proiettore) e per simulare la visione di utenti con ridotta visione a colori (Fig. 3b).

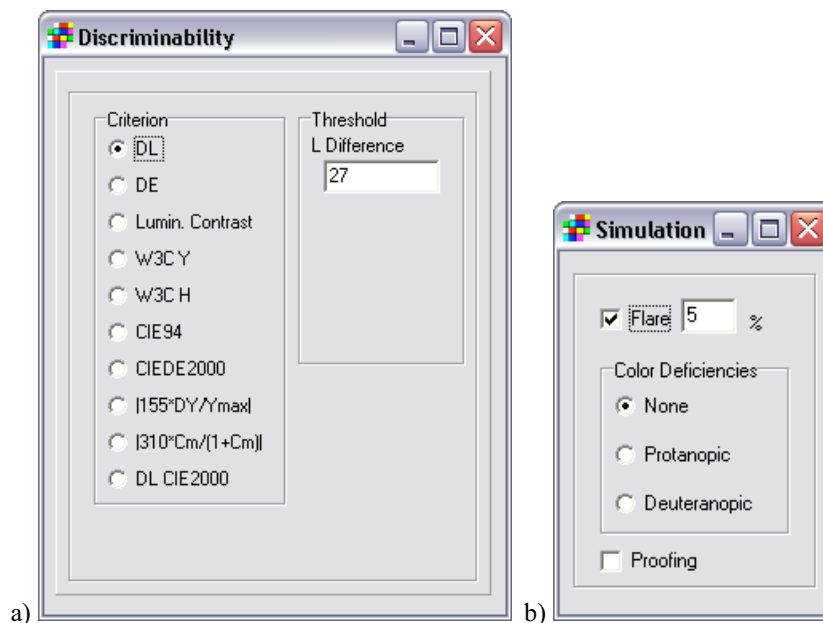


Fig. 3. (a) I criteri di selezione e (b) di simulazione.

Lo spazio colore di default è sRGB. L'utente può operare in un diverso spazio caricando un opportuno profilo ICC, utilizzato per l'elaborazione e visualizzazione ed un ulteriore profilo di simulazione.

Tra i criteri implementati, quello basato sulla differenza in chiarore risulta essere particolarmente interessante, poiché assicurare una differenza in chiarore rende l'informazione testuale fruibile anche agli utenti affetti da CVD. Sono stati quindi eseguiti dei test per verificare una opportuna soglia per l'utilizzo di tale criterio.

3. Esperimenti

La leggibilità di un testo può essere valutata in vari modi, tra cui la velocità di lettura, come proposto da Legge^{4,6}. Una misura operativa può essere considerata la probabilità con la quale i caratteri, o insiemi di caratteri, vengono riconosciuti fissato un intervallo di tempo¹⁸. Nel nostro esperimento abbiamo scelto di considerare un esercizio di conteggio di caratteri.

L'esperimento consiste nel presentare all'utente una successione di schermi (Fig. 4) per varie combinazioni di colori. Tali colori sono scelti considerando il criterio di differenza in chiarore con soglie fissate a 8, 22, e 36. È da notare che, poiché l'Atlante di Munsell è uno spazio discreto in cui i campioni sono uniformemente distribuiti con differenze in chiarore di circa 10 unità, le soglie considerate non

comportano la selezione di colori a distanza esattamente corrispondente al valore della soglia.

Sei osservatori con normale visione a colori hanno svolto l'esperimento, eseguito in una stanza con condizioni di illuminazione costanti utilizzando un monitor Barco Calibrator con gamma 2.2 posizionato in modo da ridurre il velo e l'adattamento dell'utente alla luce ambientale. Per ciascuna combinazione di colori lo strumento genera un testo composto da caratteri casuali raggruppati in parole di lunghezza media 5 (corrispondente alla lunghezza media delle parole nei Promessi Sposi). Anche il carattere da contare è scelto casualmente in modo che circa il 10% delle lettere nel testo corrispondano al carattere di cui l'osservatore deve valutare l'occorrenza. Agli osservatori è stato chiesto di eseguire il compito alla distanza alla quale leggono abitualmente le pagine Web, ovverosia a lunghezza di braccio.

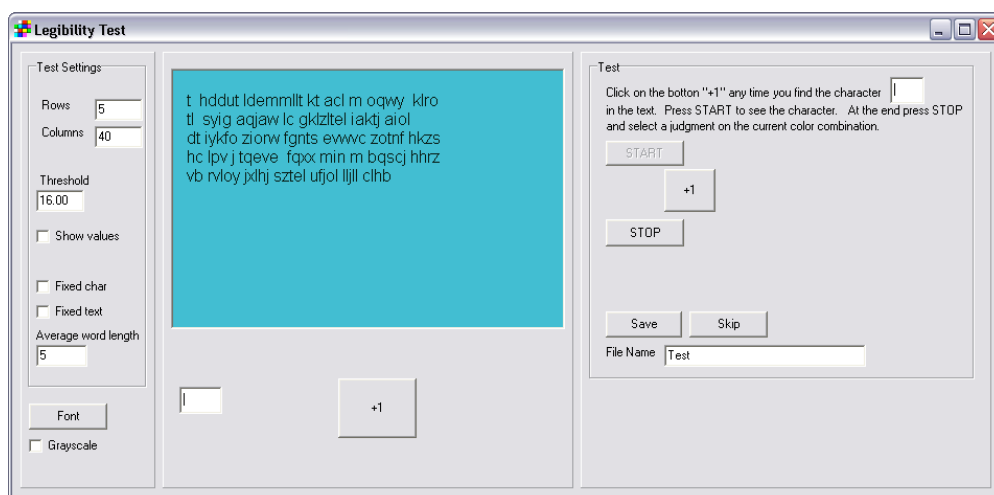


Fig. 4. Finestra per l'esperimento di conteggio dei caratteri.

I risultati del test sono sintetizzati in Tabella 1 e Figura 5.

Soglia	Min	I° Qu.	Mediano	Media	III° Qu.	Max
$\Delta L^* > 8$	17.00	27.00	35.00	33.32	40.00	52.00
$\Delta L^* > 22$	13.00	25.00	31.00	29.93	35.00	49.00
$\Delta L^* > 36$	14.00	24.00	29.00	28.69	33.00	51.00

Tab. 1. Tempi impiegati a svolgere il compito di conteggio dei caratteri per le tre soglie 8, 22 e 36 di differenza in chiarezza tra testo e sfondo (ΔL^*). I tempi sono in secondi.

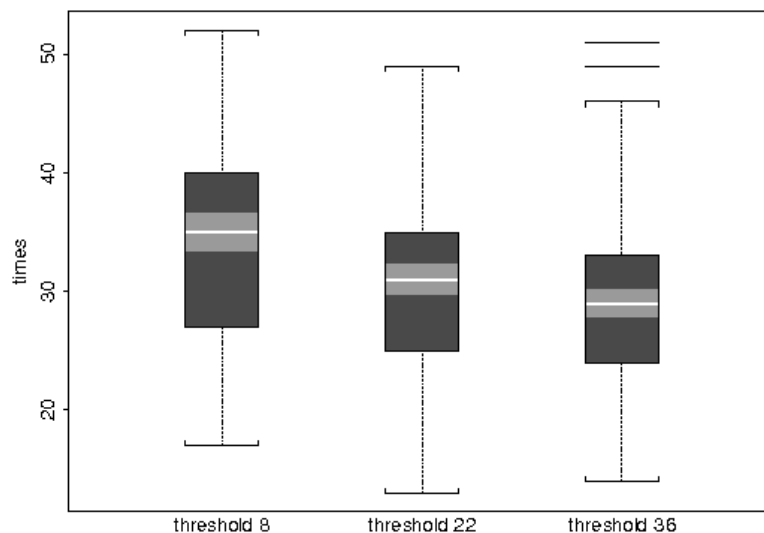


Fig. 5. Box-plot dei tempi impiegati per lo svolgimento dei test per le tre soglie.

I tempi medi impiegati per l'esecuzione del test sono stati confrontati con il test Mann-Whitney¹⁹, eseguendo il confronto tra le soglie 8 e 22 e tra le soglie 22 e 36. I risultati del test sono riportati in Tabella 2.

Confronto	Ipotesi nulla	Ipotesi alternativa	p value
soglia 8 e soglia 22	nessuna differenza dei tempi medi	media(8) > media(22)	<<0.001
soglia 22 soglia 36	nessuna differenza dei tempi medi	media(22)>media (36)	<0.05

Tab. 2. Risultati del test di Mann-Whitney.

4. Conclusione

In questo lavoro è stato presentato uno strumento che permette la selezione di colori per la visualizzazione di informazioni testuali soddisfacenti un criterio di leggibilità selezionabile tra un insieme di regole. Per tenere in considerazione i casi di ridotta visione a colori, è stato considerato in particolare il criterio basato sulla differenza in chiarore, per il quale sono stati eseguiti test di leggibilità con lo scopo di individuare una opportuna soglia per la differenza. Tali esperimenti indicano in una differenza in chiarore tra colori di sfondo e di testo di 30 unità un valore sufficiente ad assicurare la leggibilità di testi.

Bibliografia

1. M. Nielsen, M. Stokes, "The Creation of the sRGB ICC Profile," Proc. of IS&T Sixth Color Imaging Conference: Color Science. Systems and Applications, 1998.

2. Seunji Yang, Yong Man Ro, Edward K. Wong, and Jin-Hak Lee, "Quantification of Color Compensation for Anomalous Trichromats Based on Error Score on the Computerized FM-100 Hue Test", to be published, 2006.
3. G. McKinstry, "Some typesetting conventions", TUGboat 9(3), Nov. 1988.
4. Legge, G. E. And G.S. Rubin. Psychophysics of reading: IV. Wavelength effects in normal and low vision. Journal of the Optical Society of America A, 3, pp. 40–51, 1986.
5. K. Knoblauch, A. Arditi, and J. Szlyk, "Effects of chromatic and luminance contrast on reading," J Opt Soc Am A. 8(2), pp. 428-39, 1991.
6. Legge, G. E., D.H. Parish, A. Luebker and L.H. Wurm. Psychophysics of reading: XI. Comparing color contrast and luminance contrast. Journal of the Optical Society of America, A, 7, pp. 2002–2010, 1990.
7. R. Jackson, L. MacDonald, K. Freeman, *Computer Generated Color: A Practical Guide to Presentation and Display*, Wiley, Chichester, 1994.
8. B. Macintyre, W.B. Cowan, "A Practical Approach to Calculating Luminance Contrast on a CRT", ACM Trans. on Graphics, 11(4), pp. 336-347, Oct 1992.
9. American National Standard for Human Factors Engineering of Visual Display Terminal Workstations, The Human Factors Society, Inc., ANSI/HFS 100, 1988.
10. J. Schanda, "Colour and the Visual Display Unit", AIC, Budapest, 1993.
11. <http://www.w3.org/TR/AERT#color-contrast>
12. C. Ridpath, J. Treviranus, and P. L. Weiss, "Testing Readability of Web Page Colors", (<http://www.aprompt.ca/WebPageColors.html>) , 2003
13. S. Süssstrunk, R. Buckley, S. Swen, "Standard RGB Color Spaces", The Seventh Color Imaging Conference: Color Science, Systems, and Applications, Nov. 1999.
14. G. Beretta, "Color Aspects of Variable Data Proofing", IS&T/SPIE Electronic Imaging, San José, Jan 2005.
15. <http://www.littlecms.com/>
16. H. Brettel, F. Viénot, J.D. Mollon, "Computerized simulation of color appearance for dichromats", J. Opt. Soc. Am. A, 14(10), Oct. 1997.
17. F. Viénot, H. Brettel, J.D. Mollon, "Digital Video Colourmaps for Checking the Legibility of Display by Dichromats", Color Research and Applications, 24(4), Aug. 1999.
18. L.W. MacDonald, A.C. Lowe, *Display Systems*, Wiley, Chichester , 1997, pag. 98.
19. M. Hollander, D. Wolfe, *Nonparametric Statistical Methods*, 2nd Edition, Wiley, New York, 1999.

Effetti della chiarezza e del colore sulla leggibilità e la piacevolezza di un testo

Massimo Greco

massi.gre@tiscali.it

Natale Stucchi

DIPARTIMENTO DI PSICOLOGIA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA
Edificio U9, Viale dell'Innovazione 10 - 20126, Milano, Tel 02 6448 3744
natale.stucchi@unimib.it

Daniele Zavagno

DIPARTIMENTO DI PSICOLOGIA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA
Edificio U9, Viale dell'Innovazione 10 - 20126, Milano, Tel 02 6448 3814
daniele.zavagno@unimib.it

1. Introduzione

Il colore è indubbiamente essenziale nella nostra vita, non solo come esperienza estetica, ma anche come fonte di preziose informazioni per la sopravvivenza. Siamo circondati non solo da oggetti, ma anche da testi di tutti i colori, a volte molto belli e leggibili, altre volte solo belli, spesso sinceramente né belli né leggibili.

Questo lavoro parte quindi da due quesiti: quali sono le combinazioni di colore che favoriscono la leggibilità di un testo? Leggibilità e piacevolezza sono correlate?

Circa la leggibilità, vi è generale accordo sul fatto che maggiore è il contrasto maggiore è la leggibilità (Tinker, 1963; Lin, 2003 e Shieh & Lin, 2000), mentre minore accordo vi è sull'effetto del colore. Secondo alcuni (Lin, 2003; Shieh & Lin, 2000) il blu su giallo sarebbe più leggibile, secondo altri (Bix & Lockhart, 2003) nero su bianco, blu su giallo, bianco su blu, blu su bianco, giallo su rosso, nero su rosso, si disporrebbero in ordine decrescente di leggibilità. Per Hall e Hanna (2004) la combinazione nero su bianco risulta la più leggibile, seguita da bianco su nero e blu chiaro su blu scuro. Per altri ancora (Legge & Rubin, 1986; Legge et al, 1990) il colore giocherebbe un ruolo marginale o nullo.

Per quanto riguarda la piacevolezza, secondo Valdez e Mehrabian (1994) le tinte più piacevoli sarebbero blu, verde-blu, verde, rosso-porpora, porpora e porpora-blu, mentre giallo e giallo verde sarebbero le meno piacevoli. Pastoor (1990) ritiene che non ci sia un effetto della tinta sulla lettura e nelle preferenze, con la sola eccezione di colori freddi o caratterizzati da onde corte, utilizzati in combinazioni testo chiaro su sfondo scuro. Hall e Hanna (2004) hanno verificato una preferenza estetica per

la combinazione blu chiaro su blu scuro, seguita da ciano su nero, bianco su nero e nero su bianco.

Per rispondere a queste domande abbiamo effettuato due esperimenti sulla leggibilità e la piacevolezza di un testo in differenti combinazioni di colore.

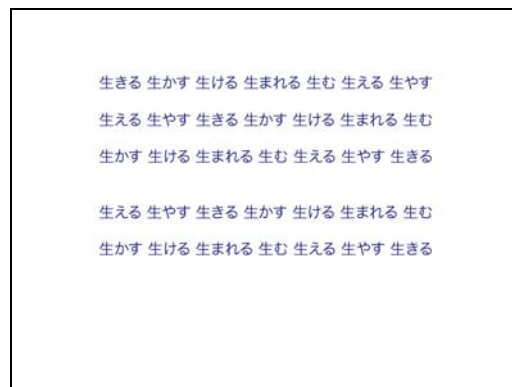
2. Metodi

Hanno partecipato all'esperimento due gruppi di trenta soggetti di età compresa tra 18 e 56 anni.

Per creare gli stimoli, sono stati utilizzati 27 colori, scelti tra quelli presenti nelle palette di Microsoft PowerPoint, 13 dei quali "scuri" (tre blu, tre rossi, tre verdi, due viola, marrone e nero) con luminanza compresa tra 3,4 e 21,5 cd/m² e 14 "chiari" (tre gialli, tre blu, due grigi, due rossi, due verdi, viola e bianco) con luminanza compresa tra 39 e 55,8 cd/m². La luminanza di ciascun colore è stata misurata, in valori assoluti, con un fotometro Minolta Chroma Meter cs-100, posto alla distanza di circa 50 centimetri dallo schermo del computer (un Acer Travelmate 803 LCi, risoluzione dello schermo TFT di 1400 x 1050 pixel, 32 bit e impostazioni di colore predefinite).

Dalla combinazione di questi 27 colori applicati al testo e allo sfondo sono stati creati 702 stimoli. Gli stimoli hanno dimensione 800 x 600 pixel con testo 24 pt e interlinea 1,5. Per evitare effetti di facilitazione dovuti al riconoscimento delle parole e di abitudine per il testo sono state usate parole giapponesi mescolate in maniera casuale (vedi figura 1).

Figura 1



I soggetti erano posti a 50 cm circa dallo schermo. Gli stimoli sono stati presentati, in ordine casuale per un massimo di due secondi e mezzo ciascuno, con una schermata grigia di transizione. A ogni soggetto del primo gruppo è stato chiesto di

valutare la Leggibilità attribuendo a ciascuna configurazione un punteggio da uno a tre. I soggetti del secondo gruppo hanno valutato la Piacevolezza sempre attribuendo un punteggio da uno a tre.

Sono stati individuati quattro fattori di interesse: Polarità (quattro livelli, cioè le quattro combinazioni possibili di chiaro e scuro, vedi tabella 1), Colore del testo (9 tinte) e Colore dello sfondo (9 tinte) e, infine, Contrasto di luminanza tra testo e sfondo.

3. Risultati dell'Esperimento 1 (valutazione della Leggibilità)

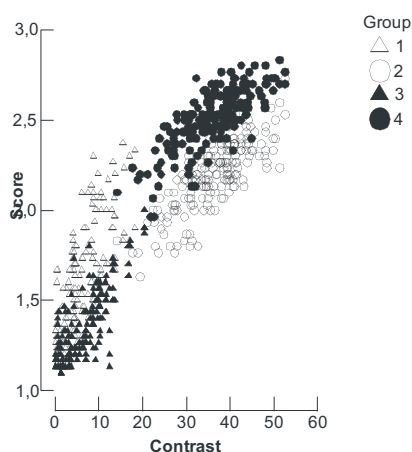
Punteggio medio (Score) e Contrasto sono fortemente correlati ($R = ,91$; vedi figura 1). Dall'Anova sul punteggio medio emerge l'effetto della Polarità ($F(3,698) = 1034,29$, $p < ,001$); i confronti post-hoc tra le medie sono tutti significativi (vedi Tabella 1). I gruppi con polarità opposta hanno un punteggio medio ovviamente più alto. Meno ovvia è la superiorità del gruppo 4, rispetto al gruppo 2.

Tabella 1: gli stimoli suddivisi in base alla polarità

Gruppo	Testo	Sfondo	Media Leggibilità	Dev. Std.	N°
1	scuro	scuro	1,605983	,3102679	156
2	chiaro	scuro	2,194142	,1931349	182
3	chiaro	chiaro	1,357688	,1962804	182
4	scuro	chiaro	2,512453	,169398	182

La differenza tra gruppi resta significativa anche eliminando l'effetto del Contrasto.

Figura 2: effetti del Contrasto sulla Leggibilità e Polarità



Poiché i gruppi 4 e 2 sono quelli che hanno dato i risultati migliori, abbiamo approfondito l'analisi su di essi.

Analisi del gruppo 4. Il punteggio è fortemente influenzato dal Contrasto ($R = ,77$). L'ANOVA sul punteggio medio mostra un effetto del fattore Colore del testo ($F(5,140) = 15,24$; $p < ,001$ e η^2 parziale = ,35) e del fattore Colore dello sfondo ($F(6,140) = 3,85$; $p < ,05$ e η^2 parziale = ,14) ma non della loro interazione. Anche rimuovendo l'effetto del Contrasto, i due fattori cromatici continuano ad avere un effetto significativo. In particolare, il nero e il blu, seguiti dal marrone sono i colori di testo ritenuti più leggibili, mentre il rosso e il viola sono quelli meno leggibili. Escludendo l'effetto del Contrasto, il nero e il marrone e il verde diventano meno leggibili; gran parte del loro effetto è quindi da attribuire al Contrasto, cioè al loro essere scuri. Il blu, invece, rimane leggibile. Un'ANOVA effettuata limitando l'analisi alle tinte con luminanza minore di 10 cd/m^2 mostra che il rosso scuro ha la stessa leggibilità del blu ed è superiore al verde.

Per quanto riguarda il Colore dello sfondo, i confronti post-hoc ci mostrano che il bianco è più leggibile del verde, il bianco non è distinguibile dal grigio e dal giallo, che a loro volta non sono distinguibili dal viola e dal blu.

Analisi del gruppo 2: L'ANOVA sul punteggio medio mostra un effetto del Colore del testo ($F(6,140) = 7,64$; $p < ,001$ e η^2 parziale = ,247) e del Colore dello sfondo ($F(5,140) = 21,60$; $p < ,001$ e η^2 parziale = ,44), ma non della loro interazione.

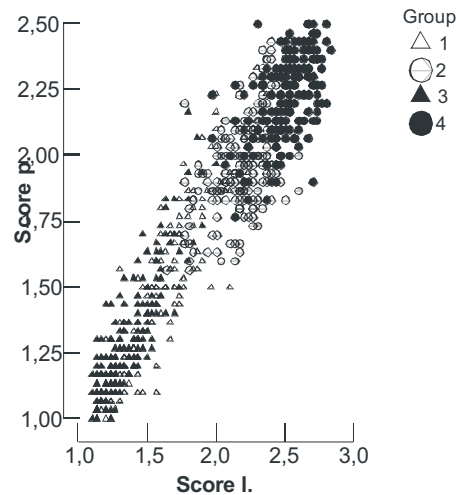
Dai confronti post-hoc per il Colore dello sfondo emergono due raggruppamenti: rosso e viola, i meno leggibili, marrone, verde, blu e nero, i più leggibili. Circa il Colore del testo, il bianco è quello con effetti migliori, mentre non ci sono differenze rilevanti tra gli altri. Eliminando gli effetti del Contrasto, l'effetto del Colore del testo non è statisticamente significativo.

La cattiva resa del rosso non dipende dalla luminanza dei rossi scelti per l'esperimento. Infatti l'ANOVA effettuata includendo soltanto gli sfondi rossi, verdi e blu, con luminanza inferiore a 10 cd/m^2 mostra che il risultato non cambia.

4. Risultati dell'Esperimento 2 (valutazione della Piacevolezza)

La Piacevolezza è fortemente correlata con la Leggibilità ($R = ,94$) e con il Contrasto ($R = ,85$).

Figura 3: punteggio di Leggibilità, di Piacevolezza e Polarità



Dalla regressione multipla (Piacevolezza su Contrasto e Leggibilità) emerge che l'effetto del Contrasto sulla Piacevolezza è interamente mediato dalla Leggibilità ($R = ,943$; con Contrasto non significativo e Leggibilità significativa: $t = 33,113$; $p < ,001$ e Parziale indipendente = $,416$). Quindi il Contrasto influenza la Leggibilità che, a sua volta, influisce in maniera rilevante sul giudizio di piacevolezza.

L'ANOVA sul punteggio medio conferma anche per la Piacevolezza l'effetto della Polarità. I confronti post-hoc indicano differenze significative per tutti i gruppi. Tale effetto permane anche eliminando quello del Contrasto. Quindi il testo scuro su sfondo chiaro è più piacevole indipendentemente dal Contrasto.

Poiché i gruppi 4 e 2 sono quelli risultati più piacevoli, abbiamo approfondito l'analisi su di essi.

Analisi del gruppo 2: l'ANOVA sul punteggio di piacevolezza mostra un effetto sia del fattore Colore del testo ($F(6,140) = 4,43$; $p < ,001$ e η^2 parziale = $,16$) che del fattore Colore dello sfondo ($F(5,140) = 29,72$; $p < ,001$ e η^2 parziale = $,51$) ma non della loro interazione. Rimuovendo l'effetto delle covariate Contrasto e Leggibilità, il Colore dello sfondo rimane significativo a differenza del Colore del testo. Diventa significativa l'interazione tra i due fattori ($F(30,138) = 1,55$; $p < ,05$ e η^2 parziale = $,25$).

I confronti post-hoc indicano che il Colore dello sfondo più piacevole è il nero seguito dal blu, quindi da viola e rosso; quest'ultimo non differisce da marrone e verde.

Eliminando l'effetto della Leggibilità, gli sfondi marroni e verdi sono quelli ritenuti meno piacevoli, lo sfondo rosso e quello viola si mantengono su un livello

intermedio ma inferiore al blu e al nero. Fa eccezione lo sfondo viola con testo rosso, migliore del blu su rosso.

Gli sfondi blu e neri sono i più piacevoli, ma con alcune eccezioni. Lo sfondo blu con testo blu, rosso e verde è meno o altrettanto piacevole dello sfondo rosso e viola. Lo sfondo nero è sempre più piacevole con l'eccezione della combinazione con testo viola. In questo caso è migliore lo sfondo blu.

Analisi del gruppo 4: l'ANOVA sul punteggio di piacevolezza mostra un effetto sia del fattore Colore del testo ($F(5,140) = 14,05$; $p < ,001$ e η^2 parziale = ,33) che del fattore Colore dello sfondo ($F(6,140) = 3,61$; $p < ,05$ e η^2 parziale = ,13) ma non della loro interazione. Rimuovendo l'effetto del Contrasto e della Leggibilità, i due fattori cromatici continuano ad avere un effetto significativo. Inoltre diventa significativa l'interazione tra i due fattori ($F(30,138) = 1,64$; $p < ,05$; η^2 parziale = ,263).

I confronti post-hoc indicano che il Colore dello sfondo più piacevole è il rosso. Per quanto concerne il Colore del testo, il nero e il blu sono le tinte più piacevoli.

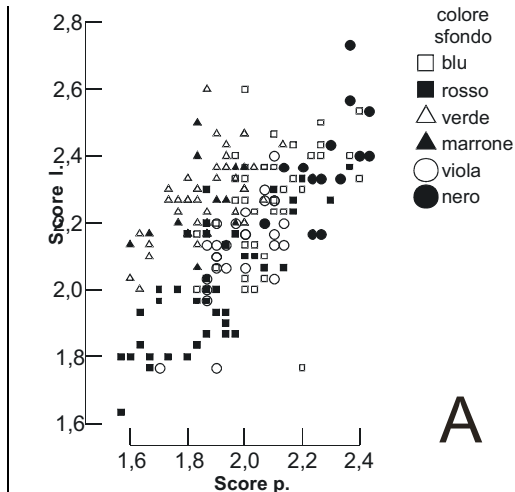
Eliminando l'effetto della Leggibilità, le combinazioni su sfondo giallo risultano, in generale, poco piacevoli e lo sfondo più piacevole con tutti i colori di testo diventa il rosso chiaro.

5. Discussione

Le analisi effettuate suggeriscono alcune risposte ai quesiti di partenza. In alcuni casi si tratta di conferme a quanto presente nella letteratura, in altri vi sono degli elementi di differenza. Per esempio, emerge da questo studio un effetto del colore a prescindere dal Contrasto. Tra i risultati più sorprendenti, segnaliamo la scarsa leggibilità del giallo sul blu scuro che contraddice un uso comune universalmente diffuso. Riportiamo in dettaglio le conclusioni che possiamo trarre dai nostri risultati sperimentali. Cominciamo con la leggibilità.

1. La Leggibilità è causata in primo luogo dal Contrasto di luminanza tra testo e sfondo;
2. Testi scuri con sfondi chiari sono più leggibili di testi chiari su sfondi scuri;
3. In configurazioni con testo scuro su sfondo chiaro, i testi più leggibili sono quelli neri, blu e rosso molto scuro (granata); per quanto riguarda gli sfondi non vi sono differenze a patto che siano chiari, con l'eccezione del verde, che in ogni caso ha dato risultati peggiori. Per dare un'indicazione pratica, se decidiamo di usare uno sfondo giallo, deve essere più chiaro di quello standard.
4. In configurazioni testo chiaro su sfondo scuro, verde, marrone, nero e blu sono equivalenti per lo sfondo. Il colore migliore per il testo è il bianco. Da evitare sfondi rossi.

Figura 4. A: Piacevolezza, Leggibilità e Colore dello sfondo nel gruppo 2. **B:** Piacevolezza, Leggibilità e Colore del testo nel gruppo 4



Queste considerazioni sulla Leggibilità sono parzialmente differenti da quelle circa la Piacevolezza.

1. La Piacevolezza è influenzata dalla Leggibilità e non viceversa. Ciò rovescia l'opinione diffusa secondo la quale "bello è leggibile"; in realtà "leggibile è bello"
2. Testi scuri su sfondi chiari sono più piacevoli di testi chiari su sfondi scuri. Questo significa che, in linea di massima, l'abitudine di usare sfondi scuri, per esempio nelle presentazioni, non sembra giustificata, non solo dal punto di vista della leggibilità, ma anche da quello della piacevolezza.
3. Gli sfondi scuri più piacevoli sono il blu e il nero; sfondi marroni e verdi sono poco piacevoli. Il viola pur essendo poco leggibile è abbastanza piacevole. Vi sono effetti di interazione tra testo e sfondo.
4. Blu e nero sono i colori di testo più piacevoli in combinazioni con sfondo chiaro.
5. Tra gli sfondi chiari, il rosso risulta essere il colore più piacevole. Non molto piacevole il giallo.

In definitiva, il rapporto tra testo e sfondo non sembra seguire meccanicamente le stesse regole del rapporto tra figura e sfondo della rappresentazione figurativa dove predomina l'aspetto della piacevolezza. Ciò può spiegare in maniera semplice perché la leggibilità influenzi la piacevolezza e non viceversa: un testo deve essere in primo luogo letto, e non semplicemente osservato globalmente.

Bibliografia

Tinker, M. (1963). *Legibility of Print*. Ames, Iowa State University Press.

Lin, C-C. (2003), Effects of contrast ratio and text color on visual performance with TFT-LCD, *International Journal of Industrial Ergonomics*, (31) 65-72.

Shieh, K-K. , Lin, C-C., (2000) Effects of screen type, ambient illumination, and color combination on VDT visual performance and subjective preference, *International Journal of Industrial Ergonomics*, (26) 527-536.

Legge, G.E., Rubin G.S. (1986), Psychophysics of reading IV. Wavelength effects in normal and low vision, *Journal of the Optical Society of America A*, Vol. 3, pp. 40-51.

Legge G.E., Parish D.H., Luebker A., Wurm L-H., (1990), Psychophysics of Reading XI. Comparing color contrast and luminance contrast. *Journal of the Optical Society of America*, 7, 2002-2010.

Bix L., Lockhart H., Cardoso F, Selke S, The Effect of Color Contrast on Message Legibility , *Journal of Design Communication*, Issue n°5 Spring 2003

Hall, R., and Hanna, P. (2004). "The Impact of Web page Text-Background Color Combinations on Readability, Retention, Aesthetics and Behavioral Intention." *Behavior & Information Technology*, 23(3), pp. 183-195.

Valdez, P. and Mehrabian, A., 1995, Effects of color on emotions. *Journal of Experimental Psychology*, 123, 394-409.

Pastoor, S. (1990), Legibility and Subjective Preference for Color Combination in Text, *Human Factors*, 32(2), 157-171.

Contrasto e stratificazione nella trasparenza cromatica.

DA POS O., DEVIGILI A., GIAGGIO F., TREVISAN G.

Dipartimento di Psicologia Generale
Università di Padova

Introduzione.

L'organizzazione figura/sfondo comporta normalmente che la figura venga vista sopra o davanti allo sfondo: si consideri per esempio la famosa figura ambigua di Rubin (Fig. 1a), in cui alternativamente si vedono o due facce bianche una di fronte all'altra, o un calice nero. In entrambi i casi le figure appaiono davanti al loro rispettivo sfondo, e cioè le facce sopra uno sfondo nero e il calice sopra uno sfondo bianco.

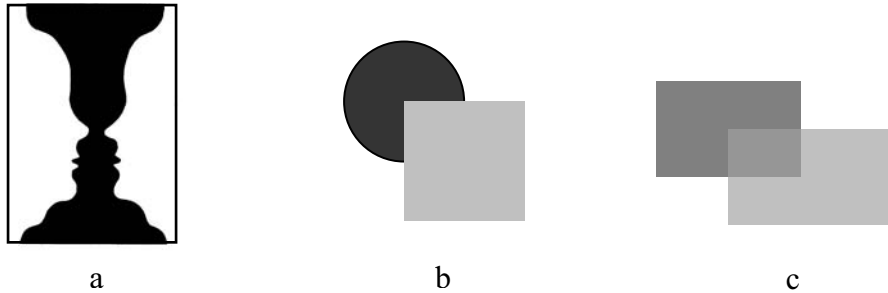


Figura 1. Figura ambigua di Rubin (a), figura opache sovrapposte (b), una figura trasparente davanti ad una opaca (c).

Quando due figure appaiono parzialmente sovrapposte (Fig. 1b), è facile stabilire quale sta davanti all'altra, in quanto la figura ocludente è vista davanti e quella oclusa dietro (l'occlusione è normalmente determinata dalle caratteristiche dei margini e dalle giunzioni a T). Un caso particolare si ha quando la figura ocludente, cioè quella davanti, appare trasparente, come in Fig. 1c: in questo caso è possibile talvolta vedere alternativamente davanti (e quindi trasparente) una figura oppure l'altra. Mentre nei casi in cui si tratta di figure opache la stratificazione davanti/dietro è determinata dai rapporti figura/sfondo, oppure figura ocludente/figura oclusa, nel caso della figura trasparente non sono immediatamente chiari i motivi per cui si vede davanti e quindi come trasparente una figura oppure l'altra. Masin (2000) studiando configurazioni trasparenti come quelle illustrate in Fig. 2, ha trovato che, qualora il colore dell'area di sovrapposizione (acromatico nel suo caso, ovvero grigio) sia intermedio tra i colori delle due aree adiacenti (che conseguentemente devono essere una più chiara

e una più scura), la stratificazione dipende dal contrasto tra il colore dell'area intermedia e i colori delle aree adiacenti. I risultati della ricerca di Masin (2000) confermano che la probabilità di vedere sottostante una delle due aree laterali dipende dalla differenza cromatica tra quell'area e quella centrale: aumentando la differenza, aumenta la probabilità di vederla sottostante (e quindi opaca rispetto a quella vista sovrastante), sempre che l'area centrale sia di un grigio intermedio alle due laterali.

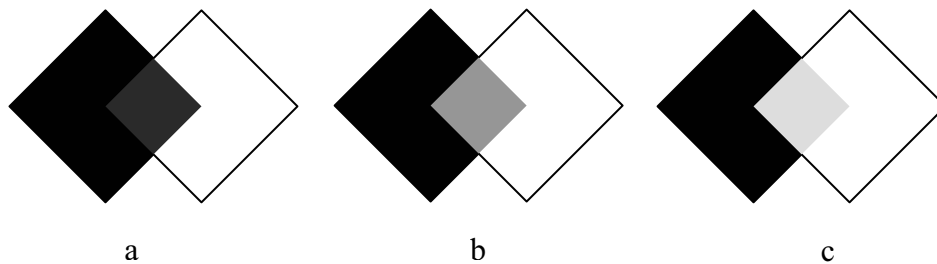


Figura 2. Due rombi sovrapposti, di cui uno appare trasparente e sopra a quello opaco sottostante.

Conseguentemente in Fig. 2a il rombo nero viene visto prevalentemente davanti e in Fig. 2c dietro. Anche quando i colori sono cromatici vale la stessa regola, sebbene in questo caso sembra che siano determinanti solo le differenze di luminanza e non di contrasto cromatico (da Pos, in preparazione).

Poiché il contrasto al margine di separazione tra due aree è il fattore determinante della stratificazione reciproca delle due, e quindi conseguentemente di quale appaia trasparente e quale opaca, in questa ricerca si è voluto indagare se tale l'effetto possa essere ottenuto con un contrasto simulato mantenendo invariati i colori delle varie aree considerate. Generalmente il contrasto acromatico percepito tra due aree diversamente colorate dipende dalla differenza dei due colori secondo la seguente funzione (contrasto di Michelson):

$$c = (L_{\max} - L_{\min}) / (L_{\max} + L_{\min})$$

dove: C = contrasto, L = luminanza

Un effetto molto interessante riguardante il colore di due aree adiacenti è stato studiato e descritto da Cornsweet (1970), secondo il quale due colori fisicamente uguali appaiono diversi se il margine che li separa determina un contrasto locale artificiale ottenibile con due sfumature contrapposte (Fig. 3) che diffonderebbero nelle aree circostanti il colore determinato dalla diversa polarità di tale margine (la parte scura scurirebbe il colore ad essa adiacente, e a sua volta la parte chiara schiarirebbe il colore ad essa adiacente).

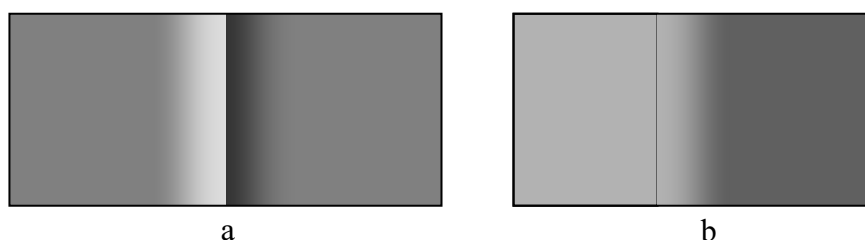


Figura 3. Effetto Cornsweet: a) i due grigi laterali sono uguali, ma quello dalla parte della sfumatura chiara appare più chiaro di quello dalla parte della sfumatura scura. b) la differenza tra i grigi laterali appare inferiore a causa della sfumatura del margine di divisione

Effetti analoghi sono stati descritti da Craik e O'Brien (da Pos & Zambianchi, 1996), e differiscono per la funzione che descrive il margine di separazione tra le due aree ugualmente/diversamente colorate. In questa ricerca ci siamo posti l'interrogativo se una variazione di contrasto come quella descritta dall'effetto Cornsweet (1970), inserita fra aree di diverso colore, sia sufficiente a modificare la stratificazione delle figure interessate, nel modo descritto da Masin (2000). Abbiamo preso in considerazione quindi non solo l'aumento di contrasto ottenibile in prossimità del margine secondo l'andamento precedentemente descritto (Fig. 3a), ma anche il contrario, cioè una diminuzione di contrasto ottenuta mediante una sfumatura continua tra i colori delle due aree (Fig. 3b). L'ipotesi è che le due aree separate da un margine con aumento artificiale di contrasto appaiano più chiaramente stratificate in piani diversi, con quella retrostante opaca (l'area centrale in questo caso appare davanti e trasparente); mentre due aree separate da un margine che riduca la loro differenza cromatica (diminuzione di contrasto) appaiano sullo stesso piano e stratificate davanti (quindi anche trasparenti) alla terza (che conseguentemente appare opaca).

Esperimento 1.

Nel primo esperimento si sono considerate configurazioni del tipo illustrato in Fig. 4, in cui due quadrati grandi appaiono parzialmente sovrapposti e l'area di sovrapposizione (il quadrato piccolo) presenta un colore "intermedio" (dal punto di vista colorimetrico) ai colori delle due aree adiacenti. Questa condizione è necessaria per vedere uno dei due rettangoli trasparente sull'altro. I due quadrati grandi inoltre giacciono su sfondi diversi, e quindi in ogni configurazione stimolo sono presenti 5 colori diversi (giacenti su un unico segmento nello spazio CIELAB) presi in ordine (sfondo 1 – quadrato 1 – quadrato 3 – quadrato 2 – sfondo 2) e tali per cui, in osservazioni preliminari, i due quadrati grandi avevano la stessa probabilità di essere visti davanti (e trasparenti).

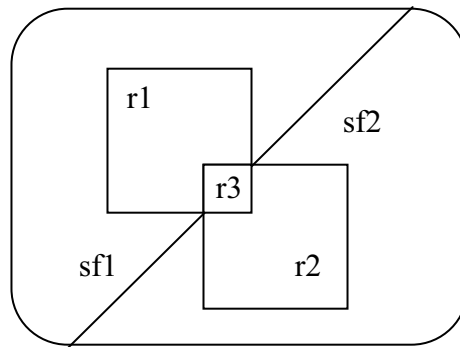


Figura 4. Configurazione sperimentale. *r1* = parte pienamente visibile del quadrato grande a sinistra; *r2* = parte pienamente visibile del quadrato grande a destra; *sf1* = sfondo sottostante al quadrato di sinistra; *sf2* = fondo sottostante al quadrato di destra; *r3* = quadrato centrale, con colore intermedio a quelli di *r1* e *r2*.

In questo esperimento i 3 colori centrali utilizzati per i quadrati di ciascuna configurazione giacevano su cinque diversi segmenti nello spazio CIELAB: un segmento corrispondeva all'asse dei colori acromatici (L^*) e quindi comprendeva 3 grigi che andavano dal più chiaro *r1* al più scuro *r2* passando per *r3* (intermedio) (Tab. 1); lo sfondo era più chiaro (*sf1*) sotto il quadrato grande più chiaro e più scuro (*sf2*) sotto il quadrato grande più scuro: questa disposizione permetteva di vedere un quadrato grande davanti (e quindi trasparente) non solo sopra l'altro quadrato grande, ma anche trasparente sopra il proprio sfondo, essendo *r1* intermedio tra *sf1* e *r3*, e parimenti *r2* intermedio tra *sf2* e *r3*.

Tabella 1. Sequenza dei grigi nelle configurazioni acromatiche. I due sfondi *sf1* e *sf2* fungevano da sfondo anche nelle configurazioni cromatiche.

	L^*
<i>sf1</i>	85.71
<i>r1</i>	70.13
<i>r3</i>	55.78
<i>r2</i>	30.07
<i>sf2</i>	12.37

Gli altri 4 segmenti avevano un'origine (*r1*) nel colore focale di ognuna della quattro tinte uniche (R, Y, G, B; Tab. 2) e caratterizzava uno dei due quadrati grandi, e l'altro estremo (*r2*) in un grigio che caratterizzava il secondo quadrato grande. Il colore del quadrato centrale (*r3*) era, come accennato in precedenza,

intermedio (Tab. 3) fra il colore del quadrato grande cromatico e il grigio (colore del secondo quadrato grande).

La sequenza dei colori sf1 r2 r3 r2 sf2 risultava conseguentemente ordinata secondo la chiarezza (e quindi conforme ai requisiti enunciati da Masin (2000).

Tabella 2. Colori di uno dei due quadrati grandi nelle serie cromatiche (l'altro quadrato grande era sempre grigio)

	L*	a*	b*
Y	85.70	-3.42	81.45
R	49.02	70.93	55.80
B	48.52	-14.79	-31.43
G	55.19	-45.10	12.69

Si avevano così 5 serie di configurazioni, quattro con colori cromatici e una con soli grigi.

Tabella 3. I colori dei 4 quadrati centrali nelle configurazioni cromatiche.

	L*	a*	b*
Y	70.99	-2.05	46.14
R	59.76	35.33	28.13
B	58.74	-6.08	-16.20
G	41.39	-19.84	5.84

Per ogni serie di configurazioni, il margine che separava r2 da r3 poteva essere o a contrasto aumentato (tipo Cornsweet) o diminuito con sfumatura graduale (andamento sigmoide) oppure senza alterazioni; analogamente anche il margine divisorio tra r2 e r3 poteva essere modificato allo stesso modo; infine tutta la sequenza di colori poteva essere invertita destra/sinistra. Si avevano quindi 5 tipi di margini (aumento di contrasto a destra e a sinistra, diminuzione di contrasto a destra e a sinistra, nessuna modificazione), 5 serie di colori e 2 ordini destra/sinistra, per un totale di 50 configurazioni diverse.

Queste configurazioni venivano presentate su un monitor calibrato (BARCO V) in una stanza poco illuminata (circa 1 lux). Alla pressione di un tasto, veniva presentata una scacchiera grigio chiara/grigio scura che rimaneva visibile per 1 secondo, seguita da una configurazione sperimentale (a caso fra le 50 possibili) di 2 secondi di durata, e quindi uno schermo grigio uniforme.

Hanno preso parte all'esperimento 28 osservatori con buona visione dei colori, ignari dello scopo dell'esperimento (che veniva loro comunicato solo alla fine). Il compito loro assegnato era quello di premere un tasto, osservare la configurazione

di quadrati sovrapposti e annotare su un foglio di carta quale dei due quadrati grandi era visto davanti; inoltre dovevano segnare con un tratto di matita su un segmento disegnato sul foglio quanto forte - evidente fosse l'impressione che quel quadrato si trovasse davanti (un estremo del segmento indicava il massimo, l'altro estremo lo zero). La posizione del segno veniva quindi misurata e costituiva il risultato della prova.

Risultati.

Innanzitutto non si sono notate differenze fra i risultati quando l'unica variabile è l'ordine della sequenza destra/sinistra, indicando che tale variabile non è rilevante. Nel grafico di Fig. 5 è rappresentata la stratificazione percepita dei quadrati grandi in funzione della posizione del margine a contrasto aumentato.

Stratificazione con margini più contrastati

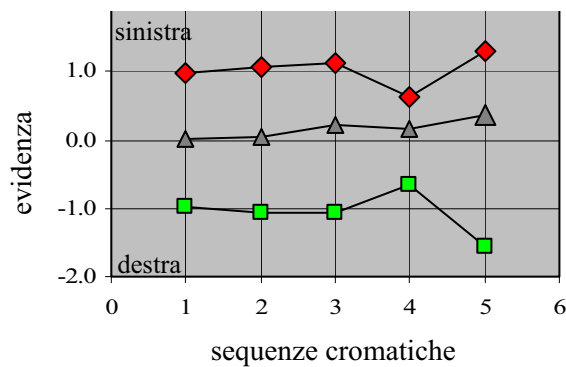


Figura 5. Posizione percepita dei quadrati grandi in funzione della posizione del margine a contrasto aumentato. *rombi rossi* = viene visto "sopra" il quadrato di sinistra quando il margine a contrasto aumentato è fra r2 e r3; *quadrati verdi* = viene visto "sopra" il quadrato di destra quando il margine a contrasto aumentato è fra r1 e r3. *triangoli grigi* = la stratificazione dei rettangoli è ambigua (casuale) quando i margini non sono modificati.

Come si può constatare quando il margine a contrasto aumentato si trova tra r2 e r3 il quadrato grande di sinistra (rombi) appare più evidentemente davanti mentre al contrario quando il margine a contrasto aumentato si trova tra r1 e r3 il quadrato grande di destra (rombi) appare più in un modo più evidente davanti (quadrati); invece la posizione è ambigua quando i margini non sono modificati (questo bilanciamento è conseguenza della precisa regolazione del colore compiuta nella fase di osservazioni preliminari).

Nel grafico di Fig. 5 è rappresentata la stratificazione percepita dei quadrati grandi in funzione della posizione del margine a contrasto diminuito/sfumato.

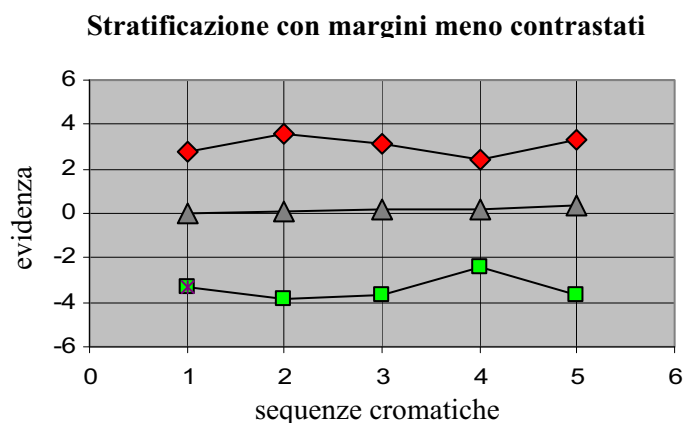


Figura 4. Posizione percepita dei quadrati grandi in funzione della posizione del margine a contrasto diminuito. *rombi rossi* = viene visto "sopra" il quadrato di sinistra quando il margine a contrasto diminuito è fra r1 e r3; *quadrati verdi* = viene visto "sopra" il quadrato di destra quando il margine a contrasto diminuito è fra r2 e r3. *triangoli grigi* = la stratificazione dei rettangoli è ambigua (casuale) quando i margini non sono modificati.

Come si può constatare quando il margine a contrasto diminuito si trova tra r1 e r3 aumenta l'evidenza della percezione della posizione "davanti" del quadrato grande di sinistra (rombi) mentre al contrario quando il margine a contrasto diminuito si trova tra r2 e r3 aumenta l'evidenza della percezione della posizione "davanti" del quadrato grande di destra (quadrati); invece la posizione è ambigua quando i margini non sono modificati.

L'analisi della varianza rivela che sono statisticamente molto significative le differenze fra le stratificazioni percepite quando è presente un margine a contrasto aumentato e quando non vi è alcuna modifica nei margini ($F_1 = 14.016$, $p < 0.0003$), ed altrettanto sono molto significative le differenze fra le stratificazioni percepite quando è presente un margine a contrasto diminuito e quando non vi è alcuna modifica nei margini ($F_1 = 133.72$, $p < 6.6 * 10^{-19}$); infine la stratificazioni quando i margini sono a contrasto aumentato non solo sono molto diverse ($F_1 = 122.23$, $p < 1.6 * 10^{-11}$) ma anche opposte rispetto a quando i margini sono a contrasto diminuito. Tutti questi risultati confermano pienamente l'ipotesi di partenza e cioè che, secondo quanto affermato da Masin (2000), la stratificazione delle figure trasparenti dipende dal grado di contrasto che manifestano con lo sfondo a livello dei margini. Un aumento di contrasto fra due aree le separa in

profondità, mentre una diminuzione di contrasto le fa vedere sullo stesso piano e davanti.

Esperimento 2.

Il secondo esperimento differisce dal precedente per i colori dei due quadrati grandi che sono in questo caso o tra loro complementari (giallo / blu; verde / viola; rosso / ciano) o situati in quadranti adiacenti (arancione / giallo-verde) (Tab. 4).

Tabella 4. Sono indicate le 4 serie, ciascuna di 5 colori, che caratterizzano ogni configurazione cromatica (la sequenza acromatica è uguale a quella dell'esperimento precedente)

	L*	a*	b*	L*	a*	b*
sf1	39.01	-34.15	17.27	93.62	-13.96	87.22
r1	45.45	-36.51	39.15	76.76	-12.52	73.77
r3	54.61	30.26	47.52	64.78	5.53	-6.97
r2	61.95	62.06	53.58	33.04	75.17	-105.22
sf2	71.07	40.56	30.02	22.39	58.85	-82.38
sf1	78.79	-53.67	32.04	38.75	59.72	47.01
r1	60.33	-45.04	30.56	49.02	70.93	55.80
r3	53.73	-0.55	0.82	67.13	-2.46	6.96
r2	45.77	48.99	-26.68	79.67	-52.14	-4.84
sf2	35.19	44.07	-24.84	86.45	-12.50	-5.85

La presentazione delle configurazioni all'osservatore e il compito richiesto erano identici a quelli dell'esperimento precedente.

Hanno preso parte all'esperimento 28 osservatori diversi, tutti con corretta visione dei colori, e ignari dello scopo, comunicato alla fine dell'esperimento.

Risultati.

Anche in questo esperimento i risultati non differiscono fra le sequenze invertite destra/sinistra, indicando che tale variabile non è rilevante. Nel grafico di Fig. 6 è rappresentata la stratificazione percepita dei quadrati grandi in funzione della posizione del margine a contrasto aumentato. I risultati sono analoghi a quelli del precedente esperimento, mostrando che la scelta dei colori non è rilevante purché rimangano invariate le condizioni necessarie dettate da Masin (2000) e alcuni margini vengano resi più contrastati mediante l'artificio di Cornsweet (1970).

Nel grafico di Fig. 7 è rappresentata la stratificazione percepita dei quadrati grandi in funzione della posizione del margine a contrasto diminuito. Anche in questo caso i risultati sono analoghi a quelli del precedente esperimento dove i margini sono resi meno contrastati mediante sfumatura ad andamento sigmoide.

Stratificazione con margini più contrastati

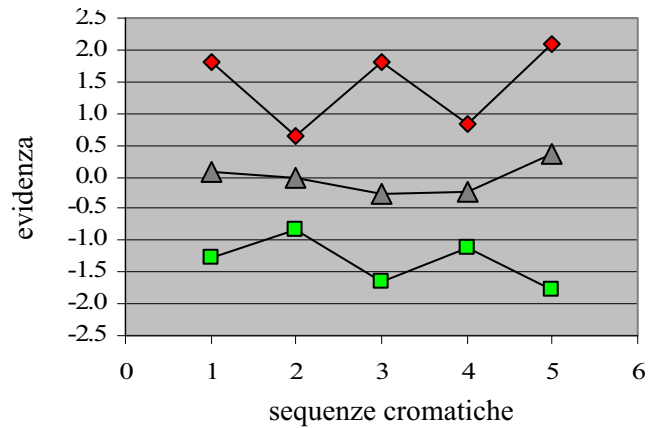


Figura 6. Posizione percepita dei quadrati grandi in funzione della posizione del margine a contrasto aumentato. *rombi rossi* = viene visto "sopra" il quadrato di sinistra quando il margine a contrasto aumentato è fra r2 e r3; *quadrati verdi* = viene visto "sopra" il quadrato di destra quando il margine a contrasto aumentato è fra r1 e r3. *triangoli grigi* = la stratificazione dei rettangoli è ambigua (casuale) quando i margini non sono modificati.

Stratificazione con margini meno contrastati

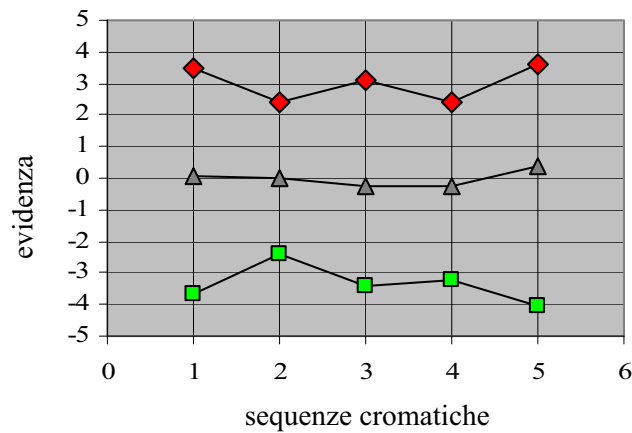


Figura 6. Posizione percepita dei quadrati grandi in funzione della posizione del margine a contrasto diminuito. *rombi rossi* = viene visto "sopra" il quadrato di sinistra quando il margine a contrasto diminuito è fra r2 e r3; *quadrati verdi* = viene visto "sopra" il quadrato di destra quando il

marginale a contrasto diminuito è fra r1 e r3. *triangoli grigi* = la stratificazione dei rettangoli è ambigua (casuale) quando i margini non sono modificati.

Anche in questo esperimento la differenza di stratificazione tra le condizioni a contrasto aumentato e quelle senza modifica dei margini è statisticamente significativa ($F_9 = 121.5$ $p < 0.0015$) come pure significativa è la differenza di stratificazione tra le condizioni a contrasto diminuito e quelle senza modifica del contrasto ($F_9 = 181.23$, $p < 1.0 * 10^{-6}$); se infine si confrontano i casi in cui il contrasto è aumentato e quelli in cui è diminuito, la differenza di stratificazione è ancor più significativa ($F_1 = 3228,96$ $p < 1,67 * 10^{-11}$).

Anche in questo esperimento quindi i risultati sono conformi alle previsioni di partenza, verificando così che la stratificazione sopra/sotto di figure trasparenti dipende dal contrasto tra figura e sfondo da un lato (se aumenta, aumenta pure la probabilità di vederle su piani diversi) e dal contrasto tra le due parti della stessa figura dall'altro (un contrasto diminuito le fa apparire sullo stesso piano e davanti).

Conclusioni.

Il contrasto tra aree diversamente colorate è responsabile di molti fenomeni visivi che riguardano l'organizzazione figura/sfondo, la profondità stereoscopica, la percezione del movimento, la trasparenza, e altri ancora. Nel caso della trasparenza abbiamo dimostrato che non è la differenza di colore tra le diverse aree a determinare come queste si stratifichino, ma è piuttosto il contrasto comunque generato ai margini di separazione tra le aree. Masin (2000) aveva dimostrato che, una volta soddisfatta la regola d'inclusione tra il colore di un'area e quelle adiacenti, la stratificazione avveniva in funzione della somiglianza tra i colori di due aree adiacenti. Il primo requisito garantisce che si percepisca un effetto di trasparenza, il secondo che venga vista sulla stesso piano e davanti la figura le cui parti sono separate da margini a basso contrasto, e che formi con lo sfondo un margine a contrasto elevato.

I risultati di questa ricerca dimostrano che non solo la stratificazione segue le stesse regole indicate da Masin (2000) quando vengono utilizzati colori cromatici, ma che il contrasto necessario per determinare le differenze di stratificazione può essere limitato ad una zona ristretta intorno al margine di divisione delle aree interessate, contrasto ottenibile quindi mediante un artificio del tipo illusione di Cornsweet (come spesso tale effetto viene chiamato). Sono quindi i meccanismi responsabili del contrasto ai margini che giocano un ruolo determinante nel determinare la stratificazione delle figure e, nel nostro caso, nel determinare quale figura debba apparire trasparente e quale opaca.

Bibliografia.

Cornsweet N.T. 1970 *Visual Perception*. New York: Academic Press.

Da Pos O., Zambianchi E. *Illusioni ed effetti visivi. Visual illusions and effects*.
Milano: Guerini Studio.

Masin S C, 2000 *Luminance determinants of perceived surface stratification in two-dimensional achromatic transparent patterns* Perception **29** 853-861.

Uno studio finalizzato a gestire e pianificare la componente cromatica dell'arredo urbano della città di Milano

ALBERTO SEASSARO, MARIO BISSON, CRISTINA BOERI
DIPARTIMENTO INDACO – POLITECNICO DI MILANO
LABORATORIO COLORE, via Durando, 10 – 20158 Milano
Tel 02.2399.5612 – Fax 02.2399.5698
lab.colore@polimi.it

La crescente consapevolezza dell'importanza che riveste l'aspetto cromatico in ambito architettonico e ambientale, si è tradotta anche in Italia in una maggiore attenzione verso tutti gli aspetti progettuali del colore urbano, concretizzatosi in primo luogo attraverso lo strumento dei piani del colore.

Il Piano del Colore della città di Torino – sul finire degli anni '70 – rappresenta il primo tentativo in Italia di dare una risposta razionale al problema del restauro delle facciate su scala urbana, sulla base di una documentazione storica oggettiva.

I piani del colore successivamente redatti in altre città si sono configurati, sino ad oggi, come utili strumenti urbanistici volti a recuperare le cromie, i materiali e le tecniche di lavorazione originali degli edifici storici, per garantirne nel tempo il mantenimento e la conservazione, contribuendo a definire un'immagine della città coerente.

Senza entrare troppo nelle specificità che pur caratterizzano i diversi – ma tutto sommato non molti – piani del colore italiani, ciò che si vuole mettere in evidenza è come, non senza un utile e vivace dibattito, questi strumenti abbiano tracciato una prima riflessione rispetto ad una metodologia di analisi e di intervento riferita dapprima esclusivamente ai contesti storici e recentemente ampliata per considerare un numero sempre più ampio di fattori ed elementi che concorrono a definire l'immagine cromatica della città, quali ad esempio le vetrine, le insegne, gli arredi, ecc.

In questo contesto si inserisce la volontà del Settore Arredo Urbano del Comune di Milano di affidare al Laboratorio Colore del Dipartimento INDACO (di Industrial Design, delle Arti, della Comunicazione e della Moda) del Politecnico di Milano uno studio finalizzato alla gestione e alla pianificazione della componente cromatica dell'arredo urbano, ossia di quegli elementi e/o manufatti che hanno connotato e che tutt'ora caratterizzano gli spazi ad uso pubblico e che rappresentano il "dettaglio urbano".

Lo studio finalizzato alla redazione di un piano del colore per aree campione, ha portato il Settore Arredo Urbano ad individuare un itinerario pedonale fortemente rappresentativa del centro cittadino e con connotati di pregio architettonico-monumentale ed ambientale, su cui avviare la sperimentazione, un'area che comprende: piazza San Babila; corso Vittorio Emanuele; piazza Duomo; piazzetta

Reale; Galleria Vittorio Emanuele; piazza Scala; piazza San Fedele; via e piazza Mercanti; piazza Cordusio; via Dante.

Analisi e rilievo della componente cromatica dell'arredo urbano su un'area campione di Milano

La prima parte dello studio si è concentrata sull'analisi e il rilievo della componente cromatica esistente, sintetizzato in una serie di schede riassuntive finalizzate a evidenziare gli aspetti legati alla lettura della componente cromatica degli elementi di arredo urbano presenti nell'area campione e consentire la creazione di una banca-dati, implementabile nel tempo, del patrimonio dell'arredo urbano della città.

Le schede sono state predisposte tenendo in considerazione tutti quegli aspetti: storico/culturali, tecnici (caratteristiche dei materiali, tecnologia produttiva, ciclo di manutenzione), di codifica del colore percepito; utili ai fini della gestione della componente cromatica.

Nello specifico, oltre ad offrire informazioni di carattere visivo (fotografico e geometrico) e storico/culturali relativamente all'elemento analizzato, la scheda approfondisce gli aspetti tecnici connessi alla componente cromatica, nonché, come viene riportato nell'ultima parte della scheda, la notazione cromatica NCS rilevata su tutti i colori presenti nell'elemento, le conversioni RGB e CMYK della notazione NCS; e, quando fornita dall'azienda, l'eventuale notazione CIE e RAL.

La decisione di utilizzare un linguaggio comune e condiviso del colore che potesse offrire anche il supporto del dato visivo, ossia di reali campioni colore di riferimento, ritenuto indispensabile per passare ad una successiva fase progettuale, ha portato ad utilizzare il sistema cromatico NCS, Natural Color System, che oltre a essere internazionalmente riconosciuto è il più diffuso in Europa. Nelle schede i riferimenti RGB e CMYK sono forniti al solo fine di offrire un utile riferimento per la rappresentazione del colore a video e a stampa. Si tratta di conversioni fornite a partire dalla notazione NCS.

Per gli elementi di colore omogeneo, i riferimenti cromatici NCS sono stati rilevati attraverso uno strumento di lettura del colore (colorimetro – comparatore) che rileva per ogni colore di superficie la notazione NCS più vicina.

Nella rilevazione dei colori presenti negli elementi di arredo urbano ci si è spesso scontrati però con la necessità di rilevare anche i colori disomogenei dei materiali lapidei, in questo caso si è ragionato in termini di “dominante percettiva”, ossia rilevando per comparazione visiva il colore percepito ad una distanza di tre metri più prossimo ai campioni NCS. Si è ritenuto comunque utile riportare nelle schede anche un riferimento fotografico visivo.

Orientamento di progetto della componente cromatica dell'arredo urbano su un'area campione di Milano

La prima parte del lavoro di ricerca, come abbiamo visto, ha portato ad analizzare in maniera puntuale la componente cromatica in tutti gli elementi di arredo presenti nell'area campione.

Ma per avviare una riflessione atta alla definizione di un piano per disciplinare l'uso del colore negli elementi di arredo urbano, si è ritenuto necessario, in una seconda fase, ragionare sulle *relazioni* presenti all'interno delle rilevazioni cromatiche effettuate. Sono state pertanto predisposte delle schede di sintesi finalizzate a mettere in evidenza le dominanti cromatiche percettive caratterizzanti gli elementi di arredo e i rapporti cromatici esistenti all'interno di elementi appartenenti ad un medesimo gruppo funzionale.

Ad un ultimo stadio si è ritenuto importante rappresentare visivamente l'intera gamma dei colori rilevati nel corso dello studio rispetto ai 1950 colori "possibili" del sistema cromatico NCS: una *tavola dei colori* da cui è possibile leggere come i colori attualmente impiegati nell'arredo urbano dell'area campione vadano a configurare alcune aree omogenee più utilizzate sia per quanto riguarda la *tinta* che il *chiaro-scuro*, rispetto ad altre scarsamente impiegate.

I dati emersi e messi in evidenza dallo studio costituiscono un indispensabile strumento di indagine conoscitiva, premessa necessaria alla definizione di un piano colore per disciplinare l'uso del colore negli elementi di arredo urbano della città di Milano.

Ma si ritiene opportuno evidenziare, quanto il progetto di un piano cromatico per i componenti di arredo urbano debba essere una sorta di *piano particolareggiato* del colore rispetto ad una più ampia pianificazione cromatica della città, rammentando l'importanza del tutto rispetto al valore di ogni singola parte.

È importante sottolineare come il presente lavoro è stato svolto su un'area campione, rappresentativa del centro storico della città di Milano, e che i risultati debbano essere letti come indicazioni metodologiche e non come indicazioni immediatamente applicabili in quanto parziali e non esaustive.

Il metodo che scaturisce dal presente lavoro può portare ad una più ampia analisi di approfondimento e di rilevamento del tessuto urbano al fine di poter individuare la reale mappatura cromatica della Città, assicurando quindi la prosecuzione, nella "tradizione cittadina", della pianificazione cromatica.

Fondamentale sarà il lavoro da svolgere sullo stato reale dell'illuminazione (componente con la quale si attua la percezione del colore in orari non diurni), sui contesti dell'architettura costruita.

La presente ricerca si pone come un modello pilota nella città di Milano, in quanto non risultano normative specifiche relative alla "scelta" del colore in merito agli arredi urbani salvo che in alcuni casi dove il colore diventa codice, come ad esempio nell'ambito della segnaletica stradale.

È necessario evidenziare che la pianificazione cromatica e quindi la sua configurazione in piano del colore può essere solo uno degli strumenti per migliorare la qualità dell'ambiente urbano.

Per quanto riguarda la normativa non si tratta di eliminare o vietare determinate azioni o scelte quanto di invitare chi progetta in questo settore ad essere informato

su una conoscenza il più completa possibile al fine di evitare delle scelte non coerenti con il contesto ove verranno attuate.

La conoscenza dei componenti di arredo in uso, la loro tecnologia, le sue origini, i loro caratteri tipologici, i materiali, è alla base della progettazione di un intervento appropriato.

Il piano non deve distinguere categorie di prodotti e quindi non crea modalità rigide di intervento, per ogni elemento che “segnerà” il luogo è necessaria un’analisi e conoscenza specifica per consentire modalità d’intervento appropriate.

Di conseguenza le norme richiedono un’attestazione di queste conoscenze: una relazione tecnica, integrata da una relazione linguistico-architettonica.

È necessaria la definizione di modelli/schede cartaceo/digitali per la presentazione dei progetti di nuovi prodotti, il più chiare ed esaurienti, compilabili con semplicità e rapidità.

Finalità ultima di queste schede non è solo quella di ottenere tutti i dati utili alla gestione ed archiviazione dei nuovi manufatti, ma anche quella di ottenere un approccio più scientifico e consapevole al tema del colore da parte dei tecnici/progettisti. Tutto ciò porterà ad un processo di “educazione” e sensibilizzazione al tema del colore.

In definitiva, possiamo concludere affermando come il metodo che scaturisce dal presente lavoro, si configura come un valido modello/strumento sia per acquisire dati e informazioni sui siti scelti come aree campione sia per fornire una prima risposta in merito all’uso dei colori per gli elementi di arredo urbano al fine di pervenire alla definizione di un piano per disciplinare l’uso del colore a scala urbana.

Il colore moda di un semilavorato: Eurojersey S.p.A. propone un metodo nuovo di progettazione

NELLO MARELLI

EUROJERSEY S.P.A.

Via S. Giovanni Bosco 260 - 21042 Caronno Pertusella (VA)

Tel +39 02 966541 - Fax +39 02 9665 4453

nmarelli@eurojersey.it

Il colore è un plusvalore: estetico e di comunicazione.

Il colore nel progetto di un prodotto tessile commerciale è una componente assolutamente fondamentale; esso è destinato ad un individuo ma deve risolvere problematiche circa la comunità ed atti collettivi.

Il gradimento e scelta di un colore sono influenzati da fattori culturali, emotivi, psicologici, sociali, ma anche dal condizionamento commerciale della moda.

Prevedere e anticipare le preferenze cromatiche del pubblico è un'attività aziendale strategica per un buon risultato commerciale.

Il colore, il cui scopo è di aumentare la seduzione e gradimento di un prodotto, ha il potere di determinare il successo o fallimento della vendita.

Una azienda produttrice di semilavorato tessile, non può permettersi di progettare un colore sulla carta, senza pensare al prodotto.

Nella moda la progettazione di successo è imprescindibile dalla conoscenza dell'uso finale.

1. Le Cartelle Colori e colori “moda”

La seguente descrizione di cosa sono e come si creano le Cartelle Colore e Book Colore di tendenza evidenzia quanto questo strumento non sia particolarmente efficace ma sia molto distante dalle esigenze dell'utente a cui è destinato.

Le Cartelle Colore nel tessile abbigliamento sono pubblicazioni semestrali, una per le stagioni Autunno -Inverno e l'altra per le stagioni Primavera -Estate. I colori proposti si raggruppano solitamente in quattro gruppi o famiglie di colori ,definiti “di tendenza moda”. La presentazione delle quattro famiglie cromatiche è supportata da immagini evocative che contestualizzano e spiegano la scelta dei colori. Le quattro famiglie di colore così presentate sono definite “CARTELLA COLORI “, i colori che compongono ogni famiglia sono di

norma raggruppati per affinità di tono, luminosità, intensità:

- 1) la famiglia dei naturali o neutri;
- 2) la famiglia dei pastellati o chiari;

3) la famiglia degli scuri;

4) la famiglia dei medi ed intensi .

Ogni Cartella Colori è nominata con il nome delle stagioni e l'anno di destinazione vendita, es.:Autunno/Inverno 06/07 ;Primavera /Estate 07.

Ogni famiglia di colori ha un titolo.

Alla Cartella Colori base è solitamente collegata una serie di “spiegazioni” d'uso:un testo descrittivo. Ogni Cartella Colori è sempre composta da tutti i colori fondamentali (nero,bianco,primari ,secondari), scelti però nella tonalità cromatica che li adatta alla proposta stagionale .

Esempio: il tono beige è sempre presente, ma di stagione in stagione sarà presentato più o meno giallo,oppure più o meno rosso, più o meno chiaro, più o meno scuro...

Il rosso è sempre presente,ma varia di stagione in stagione: più o meno giallo,più o meno luminoso, più o meno intenso, ...vermiglio, cardinale, papavero, fuoco, ...

Di norma, le stagioni A/I contengono tonalità più scure, più tagliate; le stagioni P/E contengono tonalità più fresche, luminose, intense o brillanti.

Nella famiglia dei colori Medi o Intensi si espongono anche le novità della stagione: colori insoliti ,che hanno una vita breve.

Da una stagione all'altra ,le famiglie di colori hanno delle modifiche minime, delle innovazioni mai eccessive o totali; c'è sempre una coerenza e continuità fra una stagione e quella successiva.

Il fattore “moda” delle Cartelle Colore è individuabile nella “tendenza”, nel cambiamento, è il comune denominatore della nuova qualità cromatica delle famiglie di colore .

Le Cartelle Colori sono delle proposte indicative: sono un orientamento circa la tendenza molto generale sul colore.

Ogni settore merceologico o tipologia tessile,osserva le gamme colore di tendenza ma non le applica tale e quali , ognuno deve rielaborarle contestualizzandole al proprio prodotto: un giallo limone proposto su carta,potrà adattarsi ad un cotone,o poliestere, non potrà essere usato con la stessa resa e vendita sulla lana.

Ogni azienda, nella pratica, deve creare una propria gamma colori composta da colori moda e colori aziendali. Le aziende accolgono e riproducono il maggior contenuto moda ed innovativo della Cartella Colori generale stagionale, rielaborandola e modificandola,per adattarla al proprio specifico prodotto e mercato. I colori innovativi inoltre sono molto poco recepiti e sono sviluppati in aggiunta alla gamma colori storici aziendali.

Le Cartelle Colori di tendenza sono il frutto del lavoro coordinato di Comitati Nazionali ed Internazionali se prodotte da Fiere di settore, esempio Premier Vision, Interfilier, Indigo, Filo, ...

Semestralmente si svolgono le

concertazioni a livello Associazione di settore: l'Associazione serica, l'Associazione lanieri, ricamatori, cotonieri, ecc., ognuna delle quali produce una propria gamma colori innovativa. Un incaricato presenta la gamma colori alla concertazione Nazionale, dove si valutano le varie proposte e si elabora la Gamma colori Nazionale. Questo avviene per tutte le nazioni europee. Un incaricato per nazione presenta alla concertazione Internazionale le gamme colori nazionale, il Comitato Internazionale valutando le varie proposte nazionali crea la gamma colori definitiva che diventa la Cartella Colori stagionale generale europea .Di seguito i vari Paesi ed Associazioni adeguano le loro gamme colori accettando le indicazioni emerse dalla Concertazione Internazionale.

Queste cartelle colore sono distribuite alle sole aziende espositrici, sei mesi prima l'evento fieristico. Sono in vendita esclusivamente all'interno della manifestazione e solamente agli addetti del settore .

Le cartelle colore sono prodotte anche da Agenzie di tendenze moda, per esempio Carlin, Promostil, Peclers, Here & There. Queste cartelle colore sono sviluppate da un gruppo di esperti professionisti di vari settori: sociologi, giornalisti, architetti, artisti, ricercatori scientifici, ecc., che commentano la loro visione del futuro. In questa concertazione si determina un possibile scenario i cui contenuti vengono elaborati ed organizzati anche come proposta colore. Queste tendenze sono commercializzate con il nome di "Book Colore"stagionale.

I Book Colore sono nominati ,intitolati ed hanno struttura identica alle Cartelle Colore. Le gamme colori, presentate dalle Agenzie di tendenza, sono più specifiche, sono indirizzate a settori merceologici o tipologie di prodotto predominanti, es.:se l'Agenzia è più specializzata nel prodotto abbigliamento di alta gamma, produce delle gamme colori di tendenza generale con delle tonalità specifiche per il settore abbigliamento alta gamma,non adatte per il settore Intimo, o Bambino, e viceversa ...

I Book Colore sono venduti in tutto il mondo,con una rete commerciale organizzata. Durante le manifestazioni fieristiche tessili ,le Agenzie di tendenza moda sono presenti e propongono le loro novità con un anticipo di 18 mesi circa rispetto alla vendita finale in negozio.

Il formato di presentazione delle Cartelle Colore e dei Book Colore è medesimo:tutto cartaceo ed i colori sono pigmenti serigrafici stampati su carta .

Partecipare ad una concertazione colori consiste nel dare un duplice contributo, teorico e pratico, per definire l'innovazione e cambiamenti del colore.

Dal punto di vista teorico l'insieme di nozioni, intuizioni, previsioni, riflessioni, idee da comunicare e condividere con gli altri partecipanti deve essere supportato da immagini o altro materiale esplicativo e, molto importanti, i colori già definiti. La condivisione ed accettazione più ampia di un argomento diventa una proposta di tendenza.

Quanto è valida? Dalla discussione e presentazione individuale spesso emerge una linea comune, più o meno forte, dalla quale iniziare l'organizzazione della gamma colori generale. La gamma colori generale viene valutata e discussa più volte fino a quando si determina la validità assoluta per il raggiungimento del gradimento e soddisfazione dei partecipanti.

Questo è il materiale da cui partire a costruire la gamma colori .

Tutti partecipano attivamente, aggiungendo, togliendo, modificando, argomentando.

La gamma colori decisa è riprodotta fedelmente su carta.

Verrà distribuita a tutti gli espositori e partecipanti alla manifestazione fieristica in tempo per recepire il messaggio di novità a cui aderire.

La gamma colori così organizzata e presentata vuole essere un forte mezzo per la determinazione e controllo sul cambiamento del colore stagionalmente.

Questo meccanismo permette molto parzialmente una ottimizzazione dei processi industriali aziendali, è in grado di organizzare molto timidamente una offerta coerente di prodotti stagionali, consentendo solo in minima parte l'acquisto di prodotti coordinabili per colore,.

Il messaggio unico e forte è invece recepito dal sistema mediatico, giornalistico e specializzato .

2. La percezione del colore

La percezione del colore è influenzata da molti fattori: soggettivi e non misurabili (cultura, religione, esperienza, emotività, ...) ed oggettivi e misurabili.

Il colore percepito è il risultato di una complessa azione fra elementi diversi che si influenzano reciprocamente, essi sono: la luce illuminante, il tessuto illuminato, la luce riflessa e visibile, la sinestesia ed emotività del soggetto che vede.

Molte sono le ricerche e studi che hanno investigato ed esplorato il colore, la sua percezione, i suoi significati....

Apparecchiature sempre più sofisticate ,permettono una migliore definizione e quantificazione della luce illuminante, della luce riflessa; modelli matematici simulano la percezione visiva e la valutazione soggettiva.

Attualmente ci sono dei parametri convenzionali , degli standard internazionali, che permettono una comunicazione chiara ed ordinata circa il colore: i valori X-Y-Z della CIE, che organizza in una tavola numerica l'insieme dei valori delle funzioni spettrali dell'occhio umano.

Sempre la CIE ha normalizzato le sorgenti luminose, definendole e standardizzandole, sia nella fonte di luce che nella tipologia di box di osservazione: illuminanti di tipo D65, TL84, A ,F.

La spettrofotometria è in continua evoluzione nel perfezionare gli strumenti per la misurazione della luce riflessa ,per determinare quindi metodi sempre più precisi ed oggettivi nel dimensionare un colore con valori numerici.

L'innovazione tecnologica e scientifica, attualmente aiuta moltissimo nella precisazione, quantificazione e definizione di un colore, ma la valutazione soggettiva è un fattore così sensibile e raffinato che ancora non è stato possibile imitare.

L'emotività e la sinestesia, il fenomeno di riscontri, relazioni, corrispondenze, reciprocità, simmetrie che si scatenano fra le percezioni sensoriali (visiva,tattile,olfattiva,uditiva) ed il tessuto (materia) in un continuo,vicendevole e vorticoso scambio di input-output.

L'importanza della gestione del fenomeno della sinestesia è fondamentale per il gradimento e successo di vendita di un prodotto, soprattutto, come abbiamo capito per un tessuto o capo d'abbigliamento. Purtroppo tutto questo non è mai argomento di discussione con i “venditori “di tendenze. La mia personale esperienza mi ha portato a pretendere, più volte, ma non ottenere questo supporto progettuale.

Tutto il patrimonio di informazioni sensoriali sopradescritto sono elementi che aiutano il sistema linguistico a definire, raccontare, specificare un colore (caldo,freddo), una armonia (dolce,aggressiva), un contrasto (stridente), ecc.

Un esempio descrittivo circa una gamma colori è il seguente: il ritmo dell'isola.

Colori allegri,vivaci e dinamici,piacevoli e disinvolti. Colori non lontani dal mare, colori dai sapori piccanti. Armonie di atmosfere in festa. Una fusione di culture:africane,latine ,americane. Il colore nero per dare accento.

Quando si crea, si progetta un colore, si elaborano pensieri complessi, idee e concetti ampi che non trovano corrispondenza in una sola parola, un unico nome;e peggio ancora i nomi descrittivi del colore sono pochi ed insufficienti. Una soluzione comunemente applicata per sopperire alla scarsità dei termini linguistici è quella di esaltare il “soggetto colore” con un aggettivo! Non ci sono limiti nel trovare associazioni :aggettivi dalle materie (es.:verde petrolio), dalla natura(verde foglia,menta), dagli alimenti(bianco latte,marrone cioccolato), animali, minerali,... Oppure le superfici materiche: gessati, micati, perlaceo, polveroso, metallico... Aggettivi etnici: messicano, latino, africano... Aggettivi sensoriali: morbido,s soffice, denso, ... Aggettivi psicologici: aggressivo, violento, triste, allegro, simpatico ...

3. Il caso studio azienda Eurojersey S.p.A.

Il caso studio azienda Eurojersey S.p.A.porta la testimonianza di un nuovo metodo di progettazione del colore su un prodotto dal contenuto moda: il tessuto Sensitive®.

La progettazione del colore è imprescindibile dalla conoscenza dell'uso finale a cui il prodotto è destinato.

Progettare una gamma colori comporta la conoscenza del prodotto/materia da colorare, le sue funzioni d'uso ed occasioni d'uso, la tipologia dei clienti, i mercati e standard qualitativi da rispettare.

La collaborazione con i reparti produttivi e con i responsabili commerciali è fondamentale.

Esempio di questo metodo di progetto e sviluppo è la collezione Mare 2007.

Con la collaborazione di Poli.design, Consorzio del Politecnico di Milano, è stata realizzata una analisi e mappatura su scala mondiale circa l'applicazione del prodotto Sensitive® nel settore "bagno". Questa accurata osservazione sul prodotto, la maggiore e più dettagliata conoscenza delle categorie di utilizzo, ha determinato un nuovo metodo di presentazione e vendita.

Non più il colore da solo, oppure il prodotto da solo, ma la proposta del binomio prodotto/colore o colore/prodotto per la destinazione d'uso.

Ecco allora che applicando il concetto di sinestesia, sono state create proposte colori specifiche e pertinenti per ogni diverso e specifico utilizzo finale del prodotto.

Es.:

lo sport, per i capi agonistici è stato presentato con colori basilari: blu navy, grigio, nero, rosso; con proposte di abbinamenti tono in tono quale novità di tendenza per il 2007;

il fashion è stato presentato con i gialli ed i blu predominanti, evidenziando appunto i nuovi e più importanti colori moda stagionali;

form and beauty, per signore, è stata creata una proposta più ricercata, scegliendo toni di colore sofisticati, creando gamme ed armonie di colore eleganti.

Così per tutte le categorie e sottocategorie di prodotto.

Il successo è stato immediato.

Nella progettazione di una gamma colori è indispensabile saper definire il valore specifico di ogni colore: valore cromatico e valore commerciale.

L'analisi dei dati aziendali, storici e commerciali (quantità venduta, tipologia cliente, fascia prezzo), abbinata alla osservazione del colore realmente disponibile (anche se d'archivio storico) permette la realizzazione di un'ampia ricerca sul valore del colore. I dati se regolarmente raccolti ed organizzati in un piano di assi Cartesiani mostra il valore reale di quel colore su quel prodotto, in questa azienda. Il grafico che si delinea col trascorrere del tempo è molto immediato.

Questa analisi circa il valore del colore permette di stabilire tre fasce ben nette di valore: i colori commerciali, i colori basilari, i colori moda.

I colori commerciali sono di elevata e costante quantità di vendita, sono colori storici aziendali.

I colori basilari sono colori di medio alta quantità di vendita, con un comportamento "ondulatorio" nel tempo.

I colori moda sono colori di bassa quantità di vendita, presenti per breve tempo, visibilmente rappresentati da un movimento tipo piramidale..

Questo metodo ha portato la gamma colori aziendale da 60% vendita e 40% non vendita ad un immediato 90% vendita e 10% non vendita!

Comunicare a colori: i linguaggi e la funzione del colore nella poesia beat e nel “marketing” americano

TIZIANA SALZA

Via Martiri 58 – 83031 Ariano Irpino (AV), Tel. 0825 871959

tiziana.salza@tin.it

1. Introduzione

In un'età in cui tutto sembra orientato ad un atteggiamento di apertura verso le infinite possibilità e diversità del mondo e delle culture, la tecnologia e la comunicazione valutano l'aspetto cromatico come parte integrante di ogni loro progetto.

Il lavoro di ricerca elaborato, riguardante una tematica altamente interdisciplinare, è una riflessione su tutto ciò che di colorato ci suscita sensazioni ed emozioni: dalla *poesia* ai prodotti commercializzati, dalle immagini pubblicitarie ai colori nel web, dalle creazioni artistiche alle nuove applicazioni del colore.

Scoprire il colore come mezzo espressivo significa capirne il linguaggio come emozione, impressione e memoria nel nostro inconscio, e la sua funzione come flusso d'immagini che appaiono nella nostra quotidianità.

Nel *marketing*, dove il colore viene sempre più spesso utilizzato come elemento attivo, esso si esprime nel marchio-logo e nel packaging, con funzione denotativa e descrittiva [1].

Dopo un'analisi accurata dei *prodotti materiali* che ci circondano, lo studio dell'*ambiente*, come dimensione spaziale in cui si riflette la nostra personalità e dell'*abbigliamento*, come dimensione temporale in cui si riflette il nostro stato d'animo del momento, sono diventati campi d'indagine in ambito cromatico.

Con la definizione di P. Kotler di prodotto pubblicitario, ho analizzato le *strategie comunicative* che puntano a coinvolgere, sedurre e persuadere il consumatore all'acquisto.

In cammino verso un'era multimediale colorata, con il *computer* e la *realtà virtuale*, la visione dei colori esce dall'esperienza della realtà materiale ed entra in un mondo parallelo e immateriale in cui la percezione si arricchisce di inesplorata capacità e si adatta alla nuova rappresentazione del mondo [1].

E se nel mondo attuale ogni separazione tra arte e vita è stata eliminata, le varie applicazioni del colore (dalla *Pop Art* alla *cromoterapia*) ci confermano che nella vita tutto è colore e tutto ciò che è colore è vita.

2. La vita ci colora

Il fatto che l'uso del colore abbia un intento chiaramente simbolico non toglie che la sua presenza abbia una valenza ulteriore e molteplice: e questo il mio punto di partenza.

Il nucleo della produzione poetica, relazionando tempo e spazio, non risiede nella forma, neanche nel colore, ma nell'accostamento di colori e forme, uniti nelle immagini della realtà circostante.

Le parole sono le ombre delle emozioni; il simbolo l'immagine tradotta dall'emozione. Partendo dalle emozioni, per questo motivo, l'artista-poeta cerca di imprimerle nella forma, composta dal materiale dei suoni, dei colori, delle parole; la stessa immagine artistica scolpita nella parola un ponte tra il mondo esterno e la realtà psicologica riflessa; lo stile, il ritmo, i mezzi della raffigurazione non sono combinati casualmente dall'artista; nell'unione di tali elementi insita l'essenza del processo creativo; il contenuto dato in essi, e non al di fuori di essi [2].

Il linguaggio poetico linguaggio in senso proprio; il suo maggior significato sta nel non dimostrare nulla attraverso le parole: le parole si coagulano in modo tale che il loro insieme si trasforma in un'immagine; il significato logico di questa immagine indeterminato; la percezione del linguaggio vivo, metaforico, ci incita alla creazione. Cos l'immagine poetica viene completata creativamente da ciascuno; il linguaggio metaforico genera immagini; ognuno di noi diventa un po' artista, ascoltando la parola viva [2].

John Clellon Holmes aveva intuito come la *Beat Generation* non fosse tanto un'idea, quanto piuttosto una visione, un modo di "colorare" la realtà con la parola. Senza dubbio che la parola, in tutta la gamma possibile dal silenzio all'urlo, ha caratterizzato la cultura *beat*. Attraverso la voce, le poesie dovrebbero volare via dalla pagina e conquistare il mondo [a].

"L'individuo *beat* capisce che le parole sono colori con cui si nasconde la menzogna, e l'inganno pare verità" [3].

I poeti della *Beat Generation*, con il loro particolare modo di scrivere, immaginativo e visionario, rappresentano l'espressione pi alta di un linguaggio "colorato".

La *Beat Generation* ha fondato una poesia *underground*, ha "sputato addosso" (un'espressione di Ginsberg) all'accademia e al sistema, alla vecchia poesia e ai "metri" poetici, ai canali di diffusione tradizionali e a tutti i libri costosi [4].

Gustave Moreau asserisce: "Nota bene una cosa: tu devi pensare attraverso il colore, avere immaginazione con esso. Se non hai immaginazione, il tuo colore non sarà mai bello. Il colore dev'essere pensato, immaginato, sognato" [5]. E questa anche l'idea del colore presente nei poeti *beat*.

Essi, infatti, hanno reinventato il colore come mezzo espressivo, rifiutando da sempre il luogo comune che vorrebbe il bianco e nero pi "artistico", pi poetico, pi adatto all'astrazione dalla realtà, mentre il colore rischierebbe di risultare troppo documentaristico. Attraverso la poesia hanno scelto di mostrare il contrasto

fra i colori del mondo. La loro natura e i loro paesaggi cambiano pelle, infatti, diventando qualcosa di diverso da come siamo abituati a conoscerli: veri mosaici pop, sogni a colori meravigliosamente geometrici [Tav. 1].

Dal momento che “il colore parla ai sensi piuttosto che alla mente” [6], Ginsberg fa largamente uso di tinte forti, colori audaci e violenti (che nelle tabelle cromatiche sono definiti “primari”), per generare in noi una sensazione di forte richiamo e attrazione verso un oggetto materiale o un simbolo naturale.

A flower lay on the hay on
The asphalt highway
- the dread hay flower
I though – It had a
brittle black stem and
corolla of yellowish dirty
spikes like Jesus' inchlong
crown, and a soiled
dry center cotton tuft
like a used shaving brush
that's been lying under
the garage for a year.
Yellow, yellow flower, and
flower of industry,
though spikey ugly flower,
flower nonetheless,
with the form of the great yellow
Rose in your brain!
This is the flower of the World. [7]

L'ossessiva ripetizione dell'attributo *yellow*, resa ancor più sottilmente evidente nel verso “yellow, yellow flower, and” ci suggerisce l'idea di un fiore che lungo la strada del mondo si impone con la sua presenza su ogni altra cosa.

Anche in alcuni appunti abbozzati alla rinfusa dall'autore stesso, editi in *Diario Indiano*, Ginsberg ci presenta una carrellata di immagini che ritraggono oggetti quotidiani, magicamente ravvivati da un cromatismo rosso e dalle sue sfumature.

...ecco tutto – camicia *arancione*, strofinaccio *rosso*,
perizoma *rosso*,
mani di carne che scrivono –
molte braccia *rosa* di Vishnu che rotano
reggendo asce e fiori
In piedi su un loto *arancione*
una ciotola da mendicante di plastica *rossa* –
testa che sputa fuoco...
...E' Colui dentro fuori di questa Massa di

immagini... [8]

questo un esempio significativo di come attraverso un singolare uso del colore si possa creare una certa tensione, laddove le parole non sono in grado di esprimerla. Dave Hickey osserva che “quando il colore significa qualcosa, significa sempre, pure, una sospensione del linguaggio e della storia. L’essere rapito dal colore esprime probabilmente il principale limite come scrittore, dal momento che il colore per uno scrittore, in fin dei conti, non tanto un attributo del linguaggio quanto una cura per tale incapacità” [6].

In realtà il colore “un piacere che supera la discorsività. Come la passione, il piacere dei colori elude la determinazione linguistica”[9].

«A mio avviso, - cos si esprime David Batchelor - il rapporto tra lo scrittore e il colore personale e intimo; un po’ come dire: “si lasci al colorista di scegliere nelle armonie del colore quelli che sembrano conformarsi al suo pensiero”» [6].

Il colore una droga per i nostri poeti, ma una droga che pu intossicare, avvelenare o curare [19].

“Il colore richiede, provoca – o forse consiste in – una perdita di centro della persona, una perdita di identità. Una perdita della mente, una specie di delirio, una specie di follia, forse”. Figurativamente, il colore ha sempre significato il “meno che vero” e il “non del tutto reale”. Il termine latino *Color* correlato a *Celare*, nascondere; in inglese medio *To Colour* significa abbellire o ornare, mascherare, rendere specioso o plausibile, travisare.

Eppure il colore dappertutto: intorno e dentro di noi, una parte di tutto quello che vediamo ogni mattina al nostro risveglio. “Non siamo solo circondati dal colore; noi stessi siamo colore” [6].

3. Coloriamo la vita

La comunicazione visiva avviene attraverso i messaggi visivi che appartengono alla grande famiglia di tutti i messaggi che stimolano i nostri sensi: sonori, termici, dinamici, etc. [10].

dunque assodato che nel marketing il colore ha un impatto decisivo nella presentazione dei prodotti e che influenza la decisione del cliente nel suo acquisto.

“Il progetto cromatico, oltre ad operare un mutamento nel campo dell’identità del prodotto, favorisce l’integrazione tra il contenuto estetico, quello semantico ed evocativo e soggiace alle leggi della psicologia della percezione” [1]. I produttori, infatti, investono molto nella ricerca e nella scelta del colore perch per loro produrre un modello nel giusto colore una scelta da non sbagliare.

Una considerazione da non sottovalutare costituita da quelli che vengono definiti *general trends*, ovvero le tendenze generali del colore. Generali sia dal punto di vista *geografico*, perch sono macrotendenze che coinvolgono quasi tutto il mercato, sia dal punto di vista *merceologico*, perch sono linee di colore comuni

che riguardano ambiti diversi, l'arredamento, le auto, l'abbigliamento o addirittura la grafica.

Quasi sempre il *trend* lo si delinea in America, ma poi l'Europa, in particolare l'Italia, a confermare o meno la moda [b].

“*Marchi, sigle, logotipi e simboli* sono enunciati visivi estremamente concentrati e sintetici; [...] l'impatto semantico deriva dall'insieme di forma e colore, che diventano inscindibili e rispondono alle leggi di visibilità, semplicità, sintesi e comunicabilità.

A mezza strada tra il compito di informare e quello di sedurre c'è la progettazione della confezione del prodotto, il *packaging* (dall'inglese *to pack* – imballare, confezionare), che in parte utilizza le regole di visibilità e in parte quelle della persuasione, ed assolve a funzioni pratiche ed estetiche” [1].

Il colore in grado di comunicare molti messaggi rapidamente, infatti, quando facciamo la spesa non si soffermano molto sulle confezioni, ma, siamo soltanto istintivamente attratti da esse.

Max L. Scher (psicoterapeuta, ha studiato filosofia, psicologia e psichiatria clinica a Basilea. Il suo primo libro, *Il test dei colori di L. Scher per uso clinico*, pubblicato nel 1949, suscitò grande interesse, tanto che venne tradotto in venticinque lingue) ha studiato questo argomento e ha notato come la mancanza di rosso o di giallo in una confezione o in una pubblicità significhi mancanza di vita, e che usare esclusivamente il blu o il verde il più delle volte è negativo, specialmente se l'imballaggio deve contenere prodotti naturali [11].

Nella progettazione cromatica del *packaging* si può procedere, come suggerisce Ave Appiano, “scegliendo innanzitutto un codice cromatico coerente con l'orientamento dell'azienda: se un'azienda opera nel settore alimentare si inizierà a cercare un codice cromatico selezionando tutti quei contrasti di colore con allusione a quel settore di mercato” [12].

La Barilla, per esempio, differenzia il colore del *packaging* delle sue linee di prodotti – pasta, Mulino Bianco ed Essere – scegliendo rispettivamente: il blu per sottolineare l'affidabilità di un prodotto tradizionale; il giallo per connotare la genuinità degli ingredienti da forno; il verde che invita a un consumo naturalista-ecologico [Tav. 2].

In relazione ad un prodotto, bisogna valutare anche un aspetto funzionale del colore, ossia il colore di un oggetto che si usa a lungo dovrebbe essere opaco e neutro; opaco per evitare i riflessi di luce che possono stancare la vista, e neutro per la stessa ragione. Un'altra considerazione sull'uso del colore si può fare circa il rapporto colore-materia: vi sono colori che non sono adatti a certe materie e molte volte le caratteristiche del materiale come la morbidezza, la sofficietà, la durezza, la gommosità, la scivolosità, il tipo di lavorazione, condizionano e ispirano la scelta dei colori, oltre che la dimensione e la forma [10].

In alcuni settori, inoltre, esiste una certa resistenza nel progettare prodotti colorati. Ad esempio, quei pochi produttori che hanno mostrato interesse per la produzione di Pc colorati sono stati costretti a tornare sui loro passi. I computer colorati non venivano acquistati da nessuno perché, se da una parte un computer colorato appare

quasi come un giocattolo e non come uno strumento di lavoro, dall'altro esso composto da più oggetti tra loro interdipendenti (tastiera, video, stampanti, etc.), spesso di marche diverse, che quindi devono potersi combinare fra loro [11].

Ma oggi qualcosa sta cambiando e stanno cominciando a comparire le nuove generazioni di prodotti colorati.

Basti pensare ai nuovi *trend* nel campo dell'arredamento che non propongono più solo superfici e spazi monocromatici, dove in passato dominava essenzialmente il bianco; oggi c'è la tendenza a sperimentare e giocare con le tinte, cercando armonie vivaci e suggestive.

“Come ci serviamo delle parole e del linguaggio per esprimere i nostri pensieri, così ci serviamo dell'arredamento per esprimere le nostre essenziali esigenze di vita” [13].

L'arte della combinazione e della creazione ci rende, così, protagonisti: sfogliare le pagine di un catalogo per la scelta della cucina giusta equivale a impugnare la tavolozza del pittore e realizzare sulle pareti domestiche il nostro sogno [b]. Infatti, l'arredamento ha inizio dal colore; o meglio, esso è oggi sentito come fattore determinante per la sua scelta.

Il colore è un dato essenziale anche per quanto riguarda tutti i codici dell'abbigliamento. La sua funzione tassonomica ed emblematica assai prima di essere psicologica o estetica. Il vestiario non è una realtà individuale ma una realtà istituzionale, che obbedisce a norme, che è sottomessa a codici e che per questa ragione costituisce, per la storia sociale, un campo d'osservazione privilegiato [14]. Dietro la moda ci siamo noi, noi e l'amore che proviamo per noi stessi e per il nostro corpo.

“Certo i vestiti servono principalmente per coprirsi. Ma basterà una breve e onesta autoanalisi per convincerci che, nel nostro abbigliamento, quello che serve realmente a coprire (a difendere dal caldo o dal freddo e a occultare le nudità che l'opinione comune ritiene vergognose) non supera il 50% dell'insieme. L'altro 50% va dalla cravatta al risvolto dei pantaloni, passa per il bavero della giacca e arriva sino agli altorilievi di cuoio delle nostre scarpe, e questo se ci si mantiene a livello puramente quantitativo, senza spingere l'investigazione al perché di un colore, di una stoffa, di uno spigato e di un rigato in luogo di un tessuto o di una tinta uniforme. L'abbigliamento è comunicazione” [15].

Un ruolo importante viene svolto dalla pubblicità, la quale ci indirizza verso quella linea cromatica, che sarà l'espressione di una determinata stagione e di uno specifico gruppo sociale.

vero che molte volte di un messaggio pubblicitario ricordiamo soprattutto un colore?

Il colore può abbellire il messaggio visivo, sottolinearne l'espressività, porne in rilievo gli elementi strutturali [1].

Tutto concorre ad arricchire e rinforzare il messaggio [16]. La pubblicità commerciale, ai giorni nostri, un fenomeno di grande importanza sia sociale che economica; una forma di comunicazione che cerca di promuovere un prodotto evidenziando un preciso beneficio offerto al consumatore.

In una società come l'attuale, che appare saturata dalla comunicazione in tutte le sue forme e dove i prodotti sono sempre piú simili, e dunque sempre meno coinvolgenti per i consumatori, non è piú sufficiente comunicare l'esistenza di un prodotto o le informazioni rispetto a ció che tale prodotto è in grado di offrire, ma risulta essere assolutamente necessario affermarsi per comunicare una propria identità [17, Tav. 3].

La pubblicità, in questo senso, non ha una base morale o estetica ma deve essere solo efficace. Sono i giochi di contrasto e le associazioni, specialmente quelle bizzarre, a stimolare l'attenzione (si veda la mucca violetta, simbolo di una nota marca di cioccolato) [11].

4. Arte e tecnologie colorate

Vi siete mai chiesti perch  vi fermate a navigare su un sito piuttosto che su un altro? I colori attraenti, la facilit  nel reperire le informazioni, un particolarissimo *design*, la qualit  dei contenuti? Forse nulla e tutto ci  contemporaneamente.

Il modo in cui vediamo e interpretiamo il colore nel mondo reale   molto diverso rispetto a come lo percepiamo sul *computer* [c].

“I colori, come in qualsiasi altro *medium*, possono facilitare la lettura, la comprensione e la navigazione. Si legge pi  facilmente uno schermo se il testo scuro su sfondo chiaro, quindi se i contrasti sono forti e netti. Da evitare un testo rosa su sfondo verde, poich  non soltanto   difficile da leggere e stanca gli occhi, ma i daltonici non potranno riconoscere il testo. La *directory* di navigazione solitamente di colore diverso dalla parte dedicata alle informazioni, per una comprensione immediata della pagina” [d].

Il colore serve ad attirare, sedurre, spaventare, entusiasmare, dare forza o rilassare.

Internet   un mezzo molto usato per la comunicazione d'impresa, ma spesso non si conoscono le valenze di “*marketing diretto*”.

Il *banner*   il formato pubblicitario *online* di cui si parla poco e che, intelligentemente utilizzato, sa aumentare di molto la notorit  di marca.

Per un *banner*, come per un sito, per esempio, i colori sono fondamentali; anzi, potremmo dire che il colore, nella grafica di un *banner*, ha un'importanza maggiore che un'intera pagina *web*. A un sito si arriva (attraverso un *link*, un motore di ricerca, un *banner*); da un *banner* si parte. In sostanza, mentre un sito pu  essere poco gradevole e coerente dal punto di vista cromatico, ma “fidelizzare” il navigatore grazie ai contenuti, ai servizi etc., lo stesso non pu  dirsi di un *banner*. Un *banner* brutto non avr  mai un alto CTR (Click Through Rate) e rappresenter  sempre una spesa inutile nella strategia di *marketing* di un sito. Il blu, il giallo e il verde ottengono un CTR maggiore dei *banner* in bianco e nero. Il colore rosso deve essere usato con moderazione.

I colori sono molto legati alla professione del *target* cui il *banner* si rivolge. Il colore rosso   sconsigliabile per siti di finanza (dove il rosso  , notoriamente, simbolo di perdita) e per un pubblico interessato ad argomenti medici, dove il rosso

significa sangue, fermento e morte. Il blu e il verde sono solitamente dei colori “sicuri”, in quanto suscitano sentimenti di professionalità, tradizione, affidabilità, conservatorismo e tecnologia [e,18].

Certamente oggi è difficile rendersi conto delle possibilità che i colori hanno.

Numerosi studi hanno dimostrato l’influenza dei colori sulla sensibilità e sul comportamento dell’individuo, fino ad accertare che i colori possono avere anche un uso terapeutico.

Il colore sembra essere anche un vero e proprio nutrimento; a questo proposito sono state formulate delle diete basate proprio sul colore degli alimenti. Nella dieta di tutti i giorni non dovrebbe mai mancare qualcosa di verde, di giallo-arancio, di rosso [f].

Un’attenta analisi di come il colore sia entrato a far parte della nostra quotidianità potrebbe essere la dimostrazione di quanto esso, invece, rappresenti un atteggiamento comunicazionale senza dubbi interessante.

Le opere di Warhol ci documentano quale è divenuto l’universo visivo in cui si muove quella che noi definiamo la “società dell’immagine” odierna. Nonostante il tempo trascorso e i grandi mutamenti avvenuti nella società, la *Pop Art*, o per lo meno i suoi presupposti, non sembra legata solo al momento irripetibile di quegli anni ma, attingendo alla “mitologia del quotidiano”, resta per taluni aspetti attuale. Siamo sempre più circondati dalla tecnologia, dall’informazione e dalla comunicazione di massa, al punto da dipendere da questi nuovi beni e da queste nuovissime abitudini.

Il colore, tuttavia, rimane il minimo comune denominatore che abbraccia opere d’arte così diverse, ma così vicine al mondo che ci circonda...e a come noi riusciamo a percepirlo.

5. Conclusioni

Parlare quindi del colore in poesia e nel *marketing* più moderno non è arbitrario. Se è vero che la cultura è parte integrante della nostra società e influenza inevitabilmente le scelte economiche delle aziende, è pur vero che le immagini di marchi riferiti a prodotti pubblicizzati sono diventati simboli della cultura di massa, di un’intera epoca, espressione di un’arte decisamente nuova.

Siano essi filosofi, poeti, studiosi di *marketing*, pubblicitari, artisti nonché pittori, tutti in qualche modo si sono interessati a questa tematica o hanno scritto qualcosa in proposito.

Lo sviluppo del “secolo del colore” non poteva che proseguire, contagiando una società tecnologica facilmente influenzabile. E ancora una volta l’America è in testa per le sue nuove considerazioni su come i colori ci incoraggino ad acquistare. Spostando la materia di indagine, possiamo sicuramente confermare che l’uomo rimane il fulcro di un’esistenza individuale, fatta di sensazioni e pulsioni, nonché sociale, per chi studia i suoi comportamenti e le sue scelte. E l’uomo ha imparato a comunicare anche attraverso un semplice giallo, o verde, o rosso, o blu...

In un modo così nuovo anche noi, a volte inconsapevolmente, contribuiamo a fare del colore il linguaggio più creativo che caratterizza questi anni.

Auguro a tutti che la vita vi colori sempre.

Bibliografia

1. LUZZATTO, LIA e POMPAS, RENATA, *Il colore persuasivo- Grafica Pubblicità Comunicazione New Media*, Milano, Il Castello, 2001.
2. BELYJ, ANDREJ, *Il colore della parola*, Napoli, Edizione Guida, 1986.
3. FELDMAN, GENE e GARTEMBERG, MAX, *Narratori della generazione alienata. Beat Generation e Angry Young Men*, Parma, Guanda, 1961.
4. GINSBERG, ALLEN, *Diario Beat*, Roma, Newton Compton Editori, 1979.
5. MOREAU GUSTAVE, cit. in BENJAMIN R., *Matisse's "Notes of a Painter": Criticism, Theory and Context 1891-1908*, Ann Arbor, Umi Research Press, 1987, p. 29.
6. BATCHELOR, DAVID, *Cromofobia. Storia della paura del colore*, Milano, Mondadori, 2001, trad. it. di SANPAOLO, MICHELE.
7. GINSBERG, ALLEN, *Jukebox all'idrogeno*, Parma, Guanda Editore, 1992, (pp. 184-85).
8. GINSBERG, ALLEN, *Diario indiano*, Milano, Arcana Editrice, 1994, (p. 150).
9. LICHTENSTEIN, JACQUELINE, *The Eloquence of Color: Rhetoric and Painting in the French Classical Age*, trad. ingl. di McVARISH, EMILY, Berkeley, University of California Press, 1993.
10. MUNARI, BRUNO, *Design e Comunicazione Visiva*, Bari, Editori Laterza, 1985.
11. ROMANELLO, ISABELLA, *Il colore: espressione e funzione*, Milano, Hoepli, 2002.
12. APPIANO, AVE, *Manuale di immagine*, Roma, Meltemi Editore, 1998.
13. PELUZZI, GIULIO (a cura di), *Forma e colore nell'arredamento moderno*, in collaborazione con la rivista dell'arredamento, Milano, Grulich Editore, 1963.
14. PASTOUREAU MICHEL, *L'uomo e il colore*; in *Storia dossier*, Firenze, Giunti Editore, 1987.
15. ECO, UMBERTO, *L'abito parla il monaco*, in AA. VV. *Psicologia del vestire*, Milano, Bompiani, 1972.
16. LOMBARDI, MARCO (a cura di), *Manuale di tecniche pubblicitarie. Il senso e il valore della pubblicità*, Milano, Franco Angeli, 1998.
17. CODELUPPI, VANNI, *Il potere della marca*, Torino, Bollati Boringhieri, 2001.
18. PELETTI PATRIZIA, "Il banner è morto. Viva il banner!", *Advertising online in MediaKey 212*, 2002, pp. 90-93.

19. BRUSATIN, MANLIO, *Storia dei colori*, Torino, Einaudi, 1984.

a. <http://www.labiennale.com/cinema/LIII/cat05min.htm>

b. <http://www.kitchens.it>

c. http://www.dols.net/dettaglio_news.asp?sessionid=&idnews=3007

d. <http://www.fucinaweb.com>

e. <http://www.mitarna.it/marketing>

f. <http://polveredistelle.tin.it/vnew010.htm>



Tav. 1: I colori *on the road*

Nella Tav. 1 l'immagine suggerisce il contrasto tra la posizione riflessiva dei poeti *beat* e il mondo colorato che li aspetta.



Tav. 2: Il colore nel packaging

Il colore del *packaging* nelle linee di prodotti Barilla, che si estende -come nel caso della linea Essere- a connotare l'atmosfera generale della campagna pubblicitaria, giustifica il blu per sottolineare l'affidabilità di un prodotto tradizionale, quale la pasta; il giallo per connotare la genuinità degli ingredienti da forno, quali Biscotti, Fette Biscottate, *Crackers*, ecc. ; il verde che invita ad un consumo naturalista-ecologico, quali i prodotti Essere.



Tav. 3: Eloquenza comunicativa: colore espressivo nel prodotto, nell'immagine pubblicitaria

L'immagine mostra come in pieno culto dell'immagine e dell'apparenza, nascono alcune delle campagne piú sorprendenti del secolo. Una creatività radicale e ispirata da illuminazioni colte: l'arte, la sociologia, persino la letteratura. *Absolut evergreen*. 800 variazioni concettuali ed estetiche sul tema della bottiglia di vodka piú trasparente del mondo, con interventi d'autore (Warhol e altri).

Vectorialisation of Raster Colour Images

SEBASTIANO BATTIATO, GIOVANNI PUGLISI, GAETANO IMPOCO
DIPARTIMENTO DI MATEMATICA E INFORMATICA, UNIVERSITÀ DI CATANIA
Viale A.Doria, 6 – 95125 Catania, Tel. 095 7383051, Fax: 095 330094
{battiato, puglisi, impoco} @dmi.unict.it

Abstract

Vector representation of digital images offer a number of advantages over the more common raster representation, such as scalability and resolution independence. Many efforts have been addressed to scalable raster representations for photographic imagery for portable applications. However, they lack the flexibility and simplicity of vector representation. Vector graphics is a new and little explored alternative to the more common raster representation. This paper is devoted to outline our experience in the field of vectorialisation of photographic raster images and to highlight ongoing research.

1. Introduction and Motivation

Vector representation of digital images offers a number of advantages over the more common raster representation, such as scalability and resolution independence. These features make it amenable for portable applications since it can accomodate for a wide range different displaying conditions, varying in resolution, quality, and level of detail.

Many efforts have been made to deploy scalable raster standards for photographic imagery addressed to portable applications, such as JPEG2K [9]. Anyway, since they have been focussed on raster images, they lack the flexibility and simplicity of vector representation. On the other hand, while many applications exist to enable artists to build vector images from scratch, converting photographic imagery from raster to vector formats is a relatively new topic.

Recently, SVG (*Scalable Vector Graphics*), a new vector format for web deployment, has been released [19]. Since this standard is regarded as a promising one, a number of applications have appeared to convert raster images to vector graphics in the SVG format [14,15,10,17,18]. Anyway, most of these methods are devoted to synthetic images with a small colour palette and strong neat borders between image regions. They often fail to vectorialise photographic images, because they have blurred and fuzzy edges and huge colour palettes. As we already demonstrated in previous publications, most of our methods outperform these applications, both in terms of rendering quality and of compression ratio. This

paper is devoted to outline the main steps of our research in this field and to highlight ongoing research, drawing perspectives for future developments.

2. Past Work

Converting photographic imagery from the native raster representation to vector graphics is a challenging task, due to the very nature of the image acquisition process. In fact, while synthetic images show well-defined borders that allow easy conversion methods to be employed, the borders between objects in photographic pictures are blurry and fuzzy due to the effects of the camera point spread function. Moreover, the raster representation involves a number of sampling side effects along objects' borders, such as aliasing and the staircase effect. This makes it hard to extract geometrical primitives for a faithful vector representation of the original raster scene.

In order to overcome these problems, in [5] we choose pixels themselves as basic primitives. Raster images are triangulated using the **Data Dependent Triangulation** (DDT) algorithm, which employs an edge-driven cost function. The DDT algorithm starts with a regular triangulation by partitioning the input image into triangles with the same shape and area. Basically, each pixel is regarded as a vertex and a triangle is built to connect three adjacent vertices. The triangulation is adapted to image content in a refinement step by using a cost function that aligns triangle edges to image edges.

Another algorithm based on a triangulation of the input image is **SVGWave** [1]. However, here the triangulation is obtained on the basis of a multiscale wavelet decomposition. A rough triangulation is generated for the coarsest level of the wavelet hierarchy. The initial triangle configuration is chosen using the high-frequency sub-bands, in order to align triangle edges with the prevailing direction of image borders. Then, it is refined at each finer wavelet level on the basis of an energy function that assumes low values for flat smooth areas and higher values for textured regions. If the energy is low, then no refinement is needed since using large triangles leads to good approximations. Conversely, high energy values impose further refinement. Local geometric operators (e.g., edge swap) are used to further reduce the representation error.

Both triangulation strategies produce a large number of triangles, resulting in huge image files. Two main strategies are employed to reduce the number of primitives representing the vectorialised image: approximation by means of Bezier curves [12], and polygonalisation [1]. The former approach uses Bezier curves to approximate the boundaries of large triangulated patches in order to build free-form objects defined by a small number of primitives. Likewise, polygonalisation is used to build irregular polygons from large triangulated patches of triangles with similar colour properties. Since polygonal shapes are represented by their boundary, polygonalisation avoids the representation of internal triangles. The main difference between the two approaches is that polygonalisation preserves the

shape of the pixel boundary while Bezier curves do not. Moreover, the work on Bezier curves assumes strong edges along region boundaries, since it was originally addressed to synthetic imagery. When adapted to cope with photographic images, the results are often poor in terms of rendering quality.

The **SWaterG** algorithm [2] partitions the input image using the well-known watershed decomposition. Then, a chain code is applied to the borders of the basins in the partitioned image. For each extracted border, a polygon is built.

Further details and comparisons among the outlined methods are reported in [3] together with comparisons with other methods and commercial tools. Experiments and resources can be found in the project homepage [8].

3. Ongoing Work and Future Perspectives

Despite the efforts in reducing the number of drawing primitives of triangulated images, the dimension of vectorialised images still makes them impractical for everyday use. That is why this research line was set aside at first. The interest in triangulated is renewed since the introduction of a compressed representation of DDT-triangulated images, called **SVGComp** [6]. Since DDT-triangulated images share the same properties of terrain triangle meshes, many ideas can be borrowed from popular algorithms for compressing simplicial meshes to compress our triangulations. In particular, taking inspiration from [16] a compression algorithm was developed in [6] that exploits the connectivity of the DDT representation. Each triangle is classified with respect to its neighbourhood. This class is stored together with the displacement of the new vertex with respect to the previous triangle in the visit. The classes and the relative frequencies constitute a vocabulary that is amenable to compression using a simple Huffman code. A noteworthy feature of this algorithm is that compressed files can be equipped with auto-extracting capabilities, by directly embedding the decoder inside the output SVG file, using the ECMAScript scripting language [7].

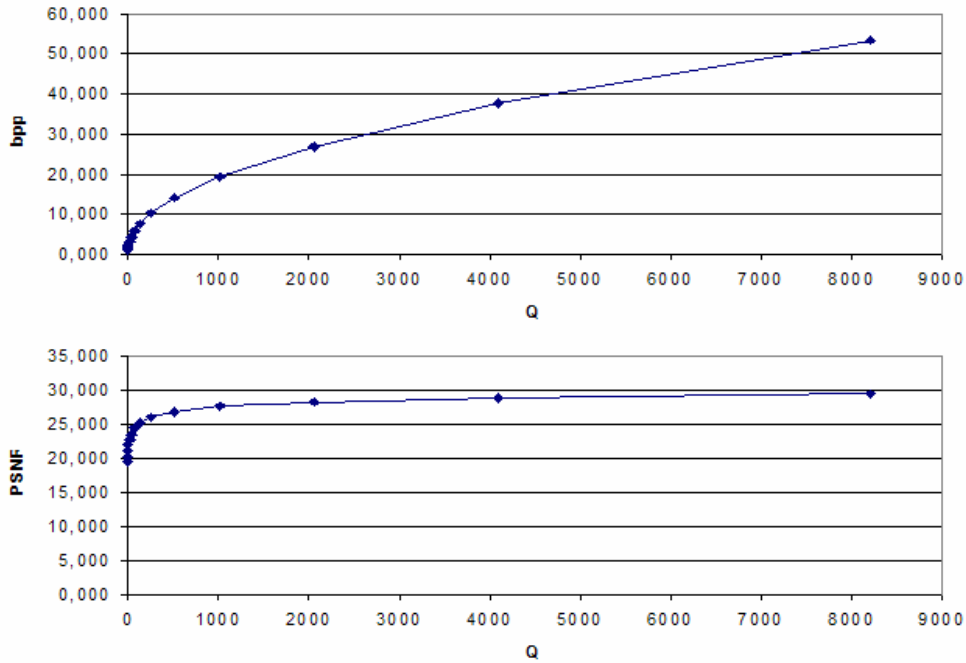


Figure 1: Variation of PSNR and bit/pixel with respect to the coarseness parameter Q .

The high number of primitives is not the only problem with triangulation approaches. These methods, as well as the watershed algorithm, have abundant sets of parameters. Tuning these parameters may be tricky even for expert users. This makes **SVGWave** and **SWaterG** impractical for practical everyday use. The same is true for commercial tools [10,17,18]. This problem is solved using the **SVGComp** approach, since it has no parameters at all. However, this prevents the user from controlling the compression ratio or the rendering quality. More control on the output vectorialisation is offered by a different approach, **SVGStat** [4], which is guided by a single intuitive parameter that controls the coarseness of the polygon representation. The core of this approach is SRM [13], a simple and fast segmentation algorithm that presents the user with a parameter directly related to the number of regions in the output image. This parameter is used to control the coarseness of the final representation. **SVGStat** uses the borders of the segmented regions as primitives to build polygonal regions. Figure 1 shows how the PSNR and bit/pixel vary with respect to the coarseness parameter Q .

A visual comparison as well as the PSNR of these two methods and of *Vector Eye* [17] is shown in Figure 2 and Figure 3. Both our methods outperform *Vector Eye* in terms of visual quality (the PSNR of **SVGComp** is low due to misregistration). **SVGComp** produces somehow blurred borders while the output of **SVGStat** is a little “flatter”. Improvements are certainly possible and work is being carried out with three main objectives: reduce the number of primitives used, improve the

rendering quality, and cut down rendering time. Some new ideas are briefly sketched in the following.

In vector graphics files, regions are defined by their boundary. For each region, the output file contains all the boundary vertices. Hence, coincident vertices are stored twice for contiguous regions that share a common part of their borders. Using vertex indexing is not a good idea since most vector graphics formats do not allow indirection. In order to reduce this redundancy, **SVGStat** can be extended by exploiting the drawing order of polygons in the z-buffer. Given the rendering order, one can simplify the border of the polygons that are partially covered by newly-drawn polygons. Basically, if P_i and P_j are two polygonal regions and $i < j$ in the rendering order, the border of P_i can be extended “under” the image region covered by P_j . This allows to reduce the number of vertices of complex borders by simplifying their shape, stretching borders towards regions covered by overlapping polygons. Extensive experiments are currently being run to assess this method.

Spline curves will be also used to reduce the number of recorded primitives. Given a polygonal region, a gross spline model can be fitted to its border. The quality of the approximation is checked using a suitable function. If the spline approximation is close enough to the polygonal border then we are done. Otherwise, new control points are added in order to minimise the local approximation error.

An interesting feature to speed up rendering is the introduction of different levels of detail (LODs) in the output file. Popular LOD algorithms for terrain data, such as [11], can be adapted to extract a number of layers related to different resolutions. Each primitive is associated to the layer corresponding to the minimum resolution to which it becomes visible. At rendering time, a script selects all the primitives to display with respect to the desired LOD, given the output resolution.

Finally, **SVGComp** can be extended to deal with general polygonalizations by using a visiting algorithm for generic polygons. As a simple generalisation, one could walk along region borders using a simple turtle algorithm. Then colour can be added by flood filling the inner of polygonal regions.

Experimental results of these new improvements will be presented at conference time.

References

1. S. Battiato, G. Barbera, G. Di Blasi, G. Gallo, G. Messina, “Advanced SVG triangulation/ polygonalization of digital images”, in *Proceedings of the SPIE - Internet Imaging VI*, January 2005.
2. S. Battiato, A. Costanzo, G. Di Blasi, G. Gallo, S. Nicotra, “SVG rendering by watershed decomposition”, in *Proceedings of the SPIE - Internet Imaging VI*, December 2005.
3. S. Battiato, G. Di Blasi, G. Gallo, G. Messina, “SVG rendering for internet imaging”, in *Proceedings of the IEEE/CAMP2005*, 2005.

4. S. Battiato, G. M. Farinella, G. Puglisi, "Statistical based vectorization for standard vector graphics", in *Fifth Int.l Workshop on Computer Graphics and Geometric Modeling* – LNCS, 28-31 May 2006.
5. S. Battiato, G. Gallo, G. Messina, "SVG rendering of real images using data dependent triangulation", in *20th Spring Conference on Computer Graphics (SCCG '04)*, 2004.
6. S. Battiato, F. Greco, S. Nicotra, "Compressed SVG representation of raster images vectorized by DDT triangulation", in *Proceedings of the Fourth Eurographics Italian Chapter Conference*, 22-24 February 2006.
7. ECMAScript LANGUAGE SPECIFICATION: Standard ECMA-262. <http://www.ecma-international.org/publications/files/ecma-st/ECMA-262.pdf>, 1999.
8. IPLAB, UNIVERSITY OF CATANIA: SVG homepage. <http://svg.dmi.unict.it/>.
9. ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 N1646: JPEG2000 final committee draft vl.0. <http://www.jpeg.org/jpeg2000/>.
10. KUHLMANN K.: Kvec 2.99. <http://www.kvec.de>, 2003.
11. D. Luebke, B. Watson, J. D. Cohen, M. Reddy, A. Varshney, "Level of Detail for 3D Graphics", *Elsevier Science Inc.*, New York, NY, USA, 2002.
12. G. Messina, E. Ingrà, S. Battiato, G. Di Blasi, "Bezier curves approximation of triangularized surfaces using SVG", in *Proceedings of the SPIE Electronic Imaging*, 2006.
13. R. Nock, F. Nielsen, "Statistical region merging", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 26, 11, pg.: 1452–1458, 2004.
14. L. Prasad, A. Skourikhine, "Raster to vector conversion of images for efficient SVG representation", in *Proceedings of SVGOpen '05*, August 2005.
15. V. Rabaud, S. Belongie, "Big little icons", in *CVAVI*, 2005.
16. J. Rossignac, A. Szymczak, "Wrap&Zip decompression of the connectivity of triangle meshes compressed with Edgebreaker", *Journal of Computational Geometry, Theory and Applications*, 14, 1-3, pg.: 119–135, 1999.
17. C. Vantighem, N. Laurent, D. Deckeur, V. Plantinet, "Vector eye 1.0.7.6", <http://www.celinea.com>, 2003. Copyright SIAME e Celinea.
18. M. Weber, "Autotrace 0.31", <http://autotrace.sourceforge.net>, 2002. GNU General Public License.
19. World Wide Web Consortium, "Scalable Vector Graphics (SVG) 1.1 Specification", 2003.



Figure 2: Visual comparison between the output of *Vector Eye*, **SVGComp** and **SVGStat**.



Figure 3: Visual comparison between the output of *Vector Eye*, **SVGComp** and **SVGStat**.

Rilevamento del profilo di oggetti tramite la proiezione di strutture colorate.

**Daniela Fontani, Franco Francini, Luca Mercatelli,
David Jafrancesco, Paola Sansoni**

CNR - ISTITUTO NAZIONALE DI OTTICA APPLICATA.
Largo E. Fermi, 6. Firenze 50125 - Tel 055-23081, Fax 055-2337755
franco.francini@inoa.it

1. Introduzione

La necessità di controllare la forma di un oggetto può essere fondamentale sia in campo scientifico sia in quello industriale. E' quindi molto importante sviluppare in questo ambito nuovi metodi con i quali sia possibile rilevare rapidamente il profilo di un oggetto anche se questo è in movimento. A partire da concetti già sviluppati si possono sperimentare altre tecniche o migliorare quelle di partenza. In questo lavoro è descritto uno studio per il rilievo del profilo tridimensionale di un oggetto attraverso una tecnica che impiega la proiezione di linee codificate nel colore [1-9]. La disponibilità a basso costo di proiettori e camere fotografiche digitali favorisce sempre di più l'impiego e lo sviluppo di queste tecniche con le quali possiamo ottenere l'informazione relativa al profilo tramite l'acquisizione di una coppia di immagini. La prima è relativa ad un piano di riferimento e deve essere ripresa una sola volta, la seconda invece riguarda l'immagine dell'oggetto.

Questo lavoro ha origine dalla necessità di mettere a punto un metodo che semplifichi l'individuazione di righe omologhe nelle due immagini quando si usano tecniche di proiezione di reticoli. Questi metodi, sebbene siano concettualmente molto semplici, sono poco usati proprio perché risulta difficile stabilire a quale riga appartenga la deformazione osservata. Attribuire colori diversi ad ogni singola riga, od a gruppi di queste, aggiunge un elemento utile per la loro selezione.

I dati relativi al profilo vengono estratti a posteriori tramite l'esame dell'immagine per mezzo di un algoritmo che abbiamo messo a punto e che si avvale del linguaggio Matlab. I risultati che presentiamo, sebbene derivino da un lavoro di ricerca non ancora concluso, rappresentano un'ottima base di partenza per ulteriori studi ed approfondimenti della tecnica che abbiamo impiegato.

2. Parte sperimentale

Lo scopo dell'esperimento è stato quello di ricostruire il profilo tridimensionale di un oggetto tramite la proiezione di luce strutturata a colori. Gli strumenti utilizzati per eseguire la misura sono: un videoproiettore di tipo DMD (Digital Micro mirror Device) (risoluzione 1024x768 pixels), collegato ad un PC; una fotocamera digitale, tipo FUJIFILM (risoluzione 3040x2016).

La disposizione sperimentale degli strumenti è riportata nella Fig. 1, dove con P e F si indicano rispettivamente il proiettore e la fotocamera, entrambi disposti a

distanza L dal piano di riferimento. Il videoproiettore è orientato con un angolo α rispetto al piano di riferimento (angolo fra la direzione dei raggi proiettati e il piano di riferimento, tratteggiato in Fig. 1). La fotocamera invece è orientata con un angolo β (sempre rispetto al piano tratteggiato). Ai fini pratici è conveniente orientare la fotocamera in modo normale al piano di riferimento ($\beta = 90^\circ$) per evitare deformazioni prospettiche nell'immagine dell'oggetto.

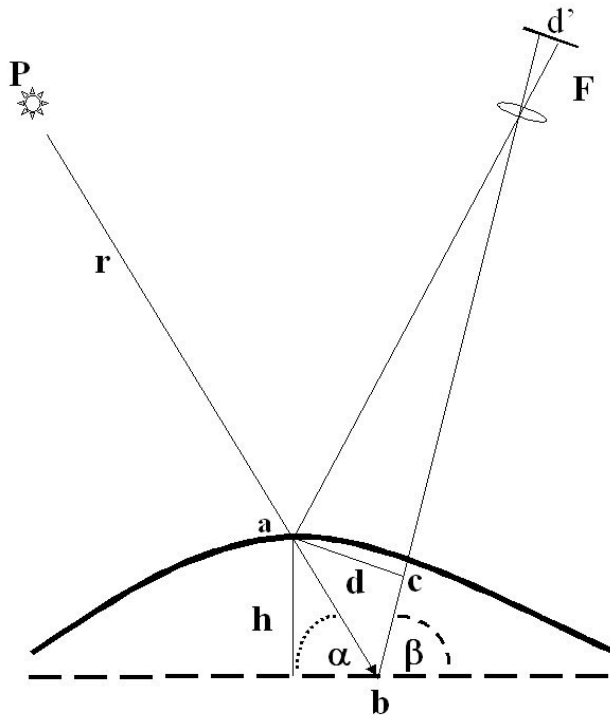


Fig. 1 – Esempio di configurazione sperimentale.

Seguendo la Fig. 1, un raggio generico proveniente da P incide con un angolo α sul piano di riferimento nel punto b . Esso viene ripreso dalla fotocamera F , posta ad angolo β . Disponendo poi il campione sul piano, questo sarà illuminato in un punto a , diverso da b ; la fotocamera quindi percepirà una traslazione pari alla distanza d , fra a e c , dove il punto c è il piede della perpendicolare a Fb . Considerando che l'ingrandimento del sistema ottico M corrisponde a d'/d , si ottiene l'altezza h del punto illuminato a :

$$h = \frac{d' / M}{\sin[180 - (\alpha + \beta)]} \cdot \sin \alpha$$

Questa è la formula finale utilizzata per il calcolo della quota, che tipicamente si utilizza per $\beta = 90$, ottenendo:

$$h = d \cdot \sin(90 - \alpha) / M$$

3. Scelta dei colori

In un lavoro precedente [1] il riferimento proiettato sull'oggetto da misurare era costituito da un insieme di righe, pallini o quadratini colorati con gruppi di 4, 6 od 8 colori. I colori che formano il pattern da proiettare sono stati scelti in modo tale da essere ben distinti cromaticamente. Nell'effettuare tale scelta abbiamo tenuto in considerazione anche gli effetti della sensibilità cromatica del sensore della camera fotografica e della generazione dei colori tramite il proiettore. Infatti, nel sistema RGB, l'intervallo dei colori rappresentabili dal proiettore si colloca all'interno del triangolo i cui vertici sono le coordinate dei colori rosso, blu e verde generati dal proiettore, come mostrato dal triangolo nero in Figura 2. Tale spazio è ulteriormente ridotto dalla funzione di sensibilità della fotocamera. Il criterio con il quale abbiamo scelto i colori dei vari pattern è stato quello di imporre fra di essi la maggiore separazione cromatica.

Nella prima fase della sperimentazione, considerando uno spazio HSL (*hue*=tinta, *saturation*=saturazione, *lightness*=luminosità) ed imponendo S ed L costanti, abbiamo scelto tinte con un angolo H multiplo di 45° ottenendo così una serie di colori equidistanti fra loro nel piano HS. Purtroppo però nell'immagine fotografata queste 8 tinte si riducono a 6 colori (alcune tinte si sovrappongono nel piano CIE1931, analogo alla Fig. 3) [1].

Quindi, ai fini pratici, questo criterio non è stato sufficiente e la migliore separazione dei colori è risultata quella riportata nella Tabella 1.

I valori riportati nella tabella sono stati ricavati tramite una sperimentazione: i colori del pattern, ripresi dalla camera fotografica non si devono sovrapporre quando sono riportati in un grafico CIE1931. La Figura 3 mostra una situazione nella quale gli 8 colori del pattern mantengono la loro separazione anche nell'immagine fotografata. Questo metodo presenta però

dei punti critici: è difficile usare più di 8 colori, il riconoscimento del colore è affidato ad un filtro software che lo identifica solo se i valori delle coordinate cromatiche sono compresi in un certo intervallo.

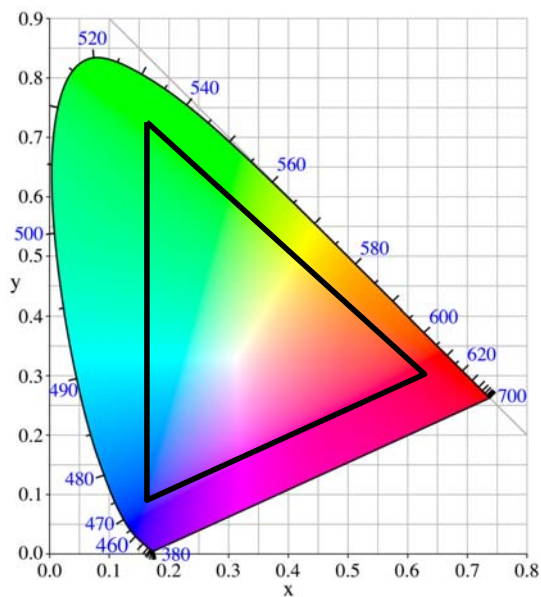


Fig. 2: Il triangolo all'interno del diagramma CIE1931 mostra le coordinate rappresentabili nel sistema RGB.

Il metodo funziona bene solo su oggetti bianchi.

Il tempi di esposizione della camera fotografica ed i diaframmi impostati possono far virare i colori originari. Infine, dobbiamo considerare che la rappresentazione dei colori dipende anche dal tipo di proiettore e dalle sue impostazioni.

colori originali	R (n° bit)	G (n° bit)	B (n° bit)	H (gradi)
celeste	0	255	255	127
rosa/viola	224	0	192	219
verde	128	224	0	64
blu	0	64	192	156
rosso	255	0	0	0
verde scuro	0	224	64	96
viola	128	0	192	198
arancio	224	192	0	32

Tab. 1: Rappresenta i valori R,G,B e gli angoli H delle tinte relative agli 8 colori utilizzati nel "pattern" proiettato sul campione.

4. Il metodo della sequenza codificata

Il fine di questo lavoro è quello di individuare un metodo che possa diminuire l'incertezza nel riconoscimento delle righe omologhe e che soprattutto si presti ad una elaborazione il più possibile automatizzata.

Gran parte degli obiettivi che ci siamo posti può essere raggiunto tramite l'impiego di colori ordinati con una sequenza non ripetitiva ed individuabile con sicurezza.

Il pattern che

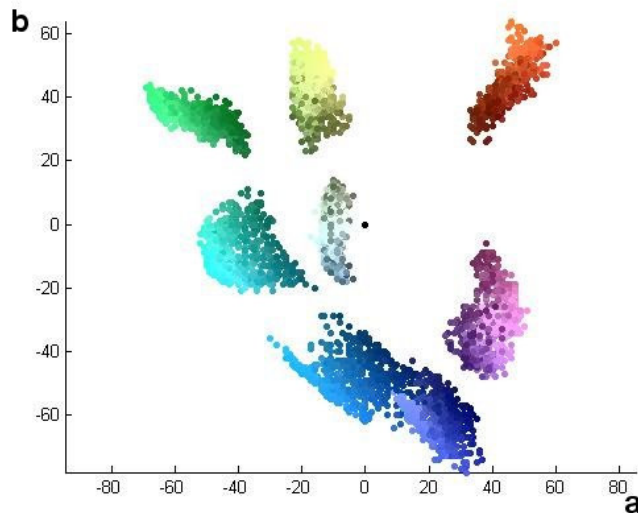


Fig. 3: Analisi CIEL*a*b* del pattern proiettato.

offre le prospettive migliori è composto da più elementi di 6 righe colorate più il bianco ed il nero, ordinate secondo lo schema seguente:

Gli 8 colori utilizzati per la realizzazione del pattern, in coordinate RGB, sono: bianco ($W=[255,255,255]$), rosso ($R=[255,0,0]$), verde ($G=[0,255,0]$), blu ($B=[0,0,255]$), nero ($K=[0,0,0]$), ciano ($C=[0,255,255]$), magenta ($M=[255,0,255]$) e giallo ($Y=[255,255,0]$).

La Figura 4 rappresenta la sequenza di righe colorate secondo la combinazione della Tabella 2.

N° gruppo	Combinazione
0	K;C;M;Y;
1	K;C;M;B;
2	K;C;G;Y;
3	K;C;G;B;
4	K;R;M;Y;
5	K;R;M;B;
6	K;R;G;Y;
7	K;R;G;B;
8	W;C;M;Y;
9	W;C;M;B;
10	W;C;G;Y;
11	W;C;G;B;
12	W;R;M;Y;
13	W;R;M;B;
14	W;R;G;Y;
15	W;R;G;B;



Tab. 2: Ordine delle combinazioni utilizzate

Fig. 4: Sequenza di righe colorate secondo la Tab. 2.

La procedura prevede i seguenti tre passi fondamentali:

- 1) Si individuano le righe bianche e quelle nere che con i tre successivi colori adiacenti delimitano la figura in 15 gruppi. Per esempio, se noi localizziamo una striscia bianca e troviamo che è seguita da strisce di colore C, M, B. possiamo unicamente determinare che il numero del gruppo è il 9.
- 2) Individuato il gruppo, si cercano le altre tre sequenze tramite le quali si può ricostruire la posizione di tutte le strisce nella figura. Questa operazione è estremamente importante perché privilegiando la ricerca della sequenza piuttosto che il riconoscimento del solo colore può contribuire alla ricostruzione di un'immagine con i colori degradati.
- 3) Ricerca delle varie coppie di linee omologhe sul riferimento e sull'immagine. Ricostruzione della quota z.

5. La ricostruzione 3D di alcuni campioni

Abbiamo analizzato due oggetti con caratteristiche morfologiche diverse: un oggetto di terracotta rappresentante un sole (Fig. 5) e la sagoma della fusoliera di aereo (Fig. 9). Entrambi gli oggetti sono stati illuminati con la sequenza colorata descritta in Fig. 4. La Figura 6 mostra l'immagine del campione quando è illuminato con la sequenza di righe colorate.



Fig. 5: Oggetto di terracotta rappresentante il sole

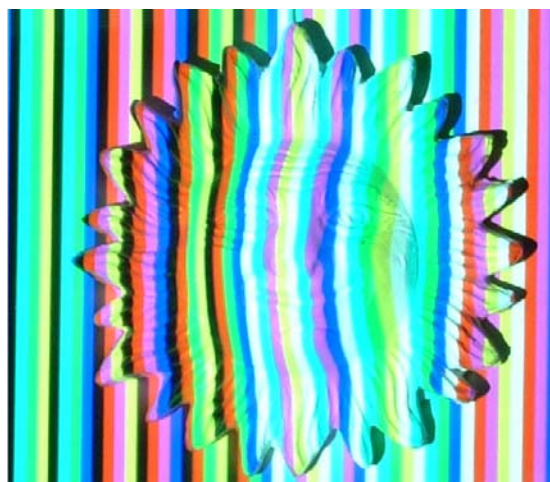
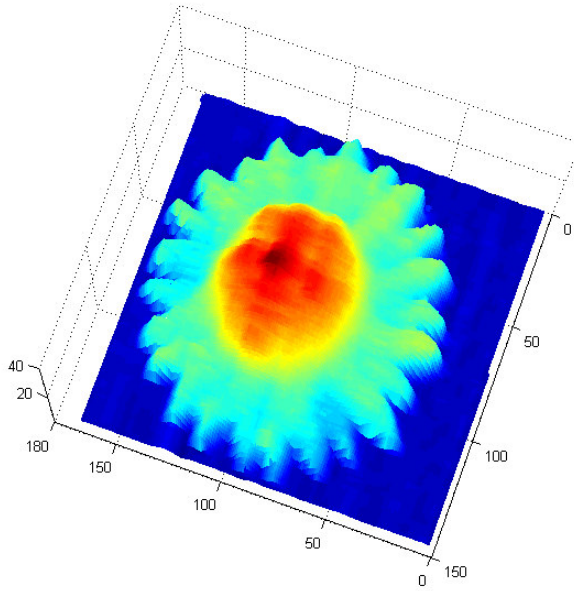


Fig. 6: Le righe proiettate sul campione di Fig. 5

La Figura 7 presenta la ricostruzione tridimensionale della superficie del sole di terracotta. Analogamente, la Figura 9 riporta l'immagine ricostruita dell'oggetto in Fig. 8

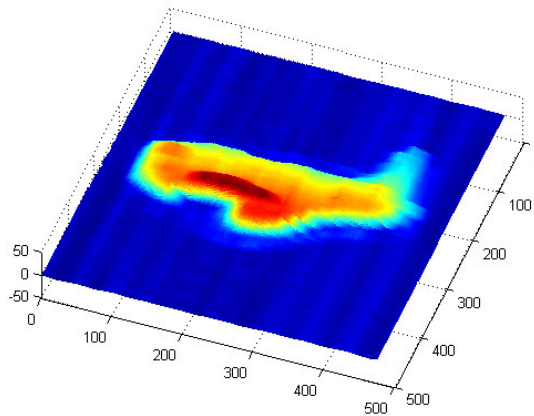


*Fig. 7 : Rappresentazione tridimensionale del campione di Fig. 5.
(le scale sono in mm)*

*Fig. 8: Modello di
una fusoliera di
aeroplano.*



*Fig. 8:
Rappresentazione
tridimensionale del
modello di una fusoliera
di aeroplano in Fig. 9.
(le scale sono in mm)*



Bibliografia

1. D.FONTANI, F. FRANCINI, D. JAFRANCESCO, L. MERCATELLI, P. SANSONI. **Tecniche di luce strutturata, codificata nel colore, per il rilevamento delle deformazioni di un eliostato di grandi dimensioni**, *Atti delle Prima Conferenza Nazionale Gruppo del Colore*, 141-148, Pescara, **2005**.
2. C.H. HU, Y.W.QIN. **Digital color encoding and its application to the Moiré technique**, "*Applied Optics*", Vol. 36 No. 16, 3682-3685, **1997**.
3. W. LIU, Z. WANG, G. MU, Z. FANG. **Color-coded projection grating method for shape measurement with a single exposure**, "*Applied Optics*", Vol. 39 No. 20, 3504-3508, **2000**.
4. P.S. HUANG, C. ZHANG, F.P. CHIANG. **High speed 3-D shape measurement based on digital fringe projection**, "*Optical Engineering*", Vol. 42 No. 1, 163-168, **2003**.
5. P.S. HUANG, Q. HU, F. JIN, F.P. CHIANG. **Color-encoded digital fringe projection technique for high-speed three-dimensional surface contouring**, "*Optical Engineering*", Vol. 38 No. 6, 1065-1071, **1999**.
6. M.S. JEONG, S.W. KIM. **Color grating projection Moiré with time-integral fringe capturing for high-speed 3-D imaging**, "*Optical Engineering*", Vol. 41 No. 8, 1912-1917, **2002**.
7. J. PAN, P.S. HUANG, F.P. CHIANG. **Color-coded binary fringe projection technique for 3-D shape measurement**, "*Optical Engineering*", Vol. 44 No. 2, 23606(1)-23606(9), **2005**.
8. Y. ZHENG, S. LIN, J. YANG. **Color filter array demosaicking with local color distribution linearity**, "*Optical Engineering*", Vol. 44 No. 5, 50501(1)-50501(2), **2005**.
9. Z.J. GENG, **Rainbow three-dimensional camera: new concept of high-speed three-dimensional vision systems**, "*Optical Engineering*", Vol. 35 No. 2, 376-383, **1996**

La fotometria per un tessile protettivo

M.R.MASSAFRA – S. BERETTA

STAZIONE SPERIMENTALE PER LA SETA

Via Giuseppe Colombo, 83 – 20133 Milano, Tel. 02 2665990 – 70635047,

Fax: 02 2362788

Massafra@ssiseta.it

1. Introduzione

Recenti studi internazionali hanno dimostrato che una prolungata esposizione al sole può produrre effetti dannosi sulla pelle a breve e a lungo termine.

Lo spettro di radiazione solare (200 – 2500 nm). comprende, infatti, quei raggi UV considerati ormai come una delle cause principali nell'insorgenza di melanomi della pelle [1-2]. La radiazione UV è una radiazione elettromagnetica con lunghezza d'onda compresa tra 180 nm e 410 nm e divisa, convenzionalmente, in radiazione UV-A (400-315 nm), UV-B (315-280 nm) e UV-C (280-180 nm).

Gli effetti negativi dell'esposizione alle radiazioni solari sulla pelle umana, dalla scottatura superficiale, all'eritema e melanoma, sono causati principalmente dalle radiazioni a lunghezze d'onda più brevi di 320 nm.

La riduzione dello strato di ozono, principale assorbitore della radiazione UV nelle regioni UV-B e UV-C e il cambiamento dello stile di vita, hanno contribuito ad un aumento nell'esposizione ai raggi ultravioletti soprattutto nei paesi di latitudine Nord come l'Australia, il Nord America ma anche l'Europa. Le interazioni che avvengono nel momento in cui tali onde elettromagnetiche sono assorbite dalle cellule cutanee, possono essere estremamente complesse.

Tuttavia una efficace protezione della pelle può tenere sotto controllo, minimizzare e prevenire i rischi dovuti all'esposizione diretta ai raggi ultravioletti, attraverso l'uso di creme solari ed indumenti protettivi capaci di filtrare determinate radiazioni e assorbitarne altre.

I tessili possono, infatti, offrire una protezione adeguata nel momento in cui si abbia un fattore di protezione sufficientemente alto (UPF) dipendentemente dal tipo di fibra, costruzione, tintura e finissaggio.

In questo lavoro si riporta qualche determinazione strumentale del valore UPF ottenuta su diversi tessuti.

2. Il fattore SPF

Il grado di protezione di materiali protettivi (creme solari, lozioni, ecc) della pelle contro gli effetti negativi della radiazione solare viene solitamente descritto attraverso l'indice **SPF** (Sun Protection Factor) così espresso [3]:

$$\text{SPF} = \frac{\text{MED unprotected}}{\text{MED protected}}$$

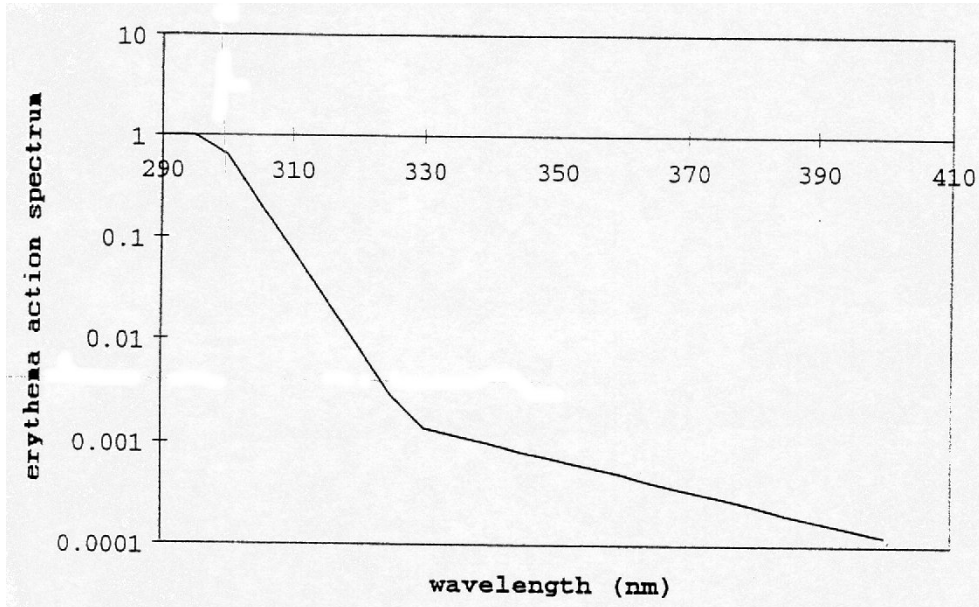
Dove *MED unprotected* = minima dose di radiazione in grado di provocare eritema nel caso di pelli non protette

MED protected = minima dose di radiazione in grado di provocare eritema nel caso di pelli protette

Vi sono due metodi principali di determinazione di tale indice: *in vivo* ed *in vitro*. Nel primo caso si applica, ad un certo numero di persone prese come riferimento, uno strato di crema solare su una zona della pelle che viene in seguito irraggiata con una lampada, il cui spettro coincide il più possibile con lo spettro della luce solare.

La determinazione *in vitro* prevede la misura del coefficiente di trasmittanza spettrale del materiale e il calcolo di SPF è basato sullo spettro dell'attività eritemica $\varepsilon(\lambda)$, ottenuto irraggiando dei soggetti con radiazione monocromatica a varie lunghezze d'onda e riportato in fig. 1, così come adottato dalla CIE (Commission Internationale d'Eclairage) [4].

Figura 1: Spettro dell'attività eritemica



L'espressione analitica corrispondente è riportata di seguito:

$$\begin{aligned} \varepsilon(\lambda) &= 1 && \text{per } 290 < \lambda < 298 \text{ nm} \\ \varepsilon(\lambda) &= 10^{0.094(298-\lambda)} && \text{per } 298 < \lambda < 328 \text{ nm} \\ \varepsilon(\lambda) &= 10^{0.015(139-\lambda)} && \text{per } 328 < \lambda < 400 \text{ nm} \end{aligned}$$

Da questa figura è evidente che la radiazione UVB è più eritemogena rispetto alle radiazioni UVA.

Si assume che l'incidenza dell'eritema dipenda in modo lineare dall'intensità della radiazione incidente e che l'effetto di ogni lunghezza d'onda non sia influenzato dalla presenza delle altre lunghezze d'onda. Di conseguenza:

$$\text{SPF} = \frac{\sum_{290}^{400} \varepsilon(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot \Delta(\lambda)}{\sum_{290}^{400} \varepsilon(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot \Delta(\lambda) \cdot T(\lambda)}$$

dove $\Delta \lambda$ = incremento relativo alla lunghezza d'onda delle luce incidente in nm
 $E(\lambda)$ = energia dello spettro solare nella regione UV in $\text{W}/\text{m}^2/\text{nm}$
 $T(\lambda)$ = coefficiente di trasmittanza spettrale attraverso il materiale in %

$\varepsilon(\lambda)$ = efficacia eritemica specifica della radiazione

Tale equazione è funzione dello spettro di radiazione solare che chiaramente dipende da una data area geografica. Solitamente si fa riferimento allo spettro solare di Melbourne, Garmisch o Albuquerque.

In tabella 1 si riporta lo spettro solare ottenuto ad Albuquerque che è quello più frequentemente usato in Europa dai dermatologi [5].

Tabella 1: Energia dello spettro solare $E(\lambda)$ e efficacia eritemica $\varepsilon(\lambda)$

λ	$E(\lambda)$	$\varepsilon(\lambda)$
290	$3.090 \cdot 10^{-6}$	1.000
295	$7.860 \cdot 10^{-4}$	1.000
300	$8.640 \cdot 10^{-3}$	0.649
305	$5.770 \cdot 10^{-2}$	0.220
310	$1.340 \cdot 10^{-1}$	$0.745 \cdot 10^{-1}$
315	$2.280 \cdot 10^{-1}$	$0.252 \cdot 10^{-1}$
320	$3.140 \cdot 10^{-1}$	$0.855 \cdot 10^{-2}$
325	$4.030 \cdot 10^{-1}$	$0.290 \cdot 10^{-2}$
330	$5.320 \cdot 10^{-1}$	$0.136 \cdot 10^{-2}$
335	$5.135 \cdot 10^{-1}$	$0.115 \cdot 10^{-2}$
340	$5.390 \cdot 10^{-1}$	$0.966 \cdot 10^{-3}$
345	$5.345 \cdot 10^{-1}$	$0.810 \cdot 10^{-3}$
350	$5.590 \cdot 10^{-1}$	$0.684 \cdot 10^{-3}$
355	$6.080 \cdot 10^{-1}$	$0.575 \cdot 10^{-3}$
360	$5.640 \cdot 10^{-1}$	$0.484 \cdot 10^{-3}$
365	$6.830 \cdot 10^{-1}$	$0.407 \cdot 10^{-3}$
370	$7.660 \cdot 10^{-1}$	$0.343 \cdot 10^{-3}$
375	$6.635 \cdot 10^{-1}$	$0.288 \cdot 10^{-3}$
380	$7.540 \cdot 10^{-1}$	$0.243 \cdot 10^{-3}$
385	$6.055 \cdot 10^{-1}$	$0.204 \cdot 10^{-3}$
390	$7.570 \cdot 10^{-1}$	$0.172 \cdot 10^{-3}$
395	$6.680 \cdot 10^{-1}$	$0.145 \cdot 10^{-3}$
400	1.010	$0.122 \cdot 10^{-3}$

Il confronto tra gli esperimenti condotti in vivo ed in vitro ha evidenziato delle discrepanze dovute principalmente alle differenti caratteristiche della pelle ed alle differenze dei materiali protettivi usati.

Nel caso di materiali tessili [Menzies et al.], [2] hanno dimostrato che gli esperimenti condotti sia in vivo che in vitro portano a risultati concordanti quando la distanza tra tessuto e pelle è minima.

3. Definizione e determinazione del fattore UPF nei tessuti

In analogia, misurando la trasmittanza spettrale ($T(\lambda)$) dei tessuti, si definisce il loro indice **UPF** (Ultraviolet Protection Factor):

$$\text{UPF} = \frac{\sum_{290 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} \varepsilon(\lambda) * E(\lambda) * \Delta(\lambda)}{\sum_{290 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} \varepsilon(\lambda) * E(\lambda) * \Delta(\lambda) * T(\lambda)}$$

Il valore UPF di un indumento, direttamente paragonabile al valore SPF, indica il suo grado di protezione rispetto al MED (Minima Dose Eritematogena) cioè il fattore per cui, indossando un capo, l'esposizione al sole può continuare senza provocare alcun eritema alla pelle.

3.1 Misura della trasmittanza spettrale

La determinazione dell'UPF di un materiale tessile comporta la misura della trasmittanza totale $T(\lambda)$ spettrale nell'intervallo di lunghezza d'onda 290-400 nm. Tale misura viene effettuata irradiando il campione con radiazione monocromatica o policromatica UV con spettrofotometro munito di accessorio per la riflettanza diffusa.

3.2 Metodo strumentale

La procedura operativa, adottata nel nostro laboratorio, si basa sul progetto di Norma Europea [5].

- Si utilizza uno spettrofotometro (UV-VIS), dotato di sfera integrata, con monocromatore posto prima del campione. Si irraggia il tessuto campione e si raccoglie la radiazione totale (diffusa e diretta) trasmessa, ad intervalli di 1 nm nel range UV-A e UV-B.
- Si posiziona il campione, con la zona non a contatto con la pelle, rivolta verso la sorgente UV,
- Nel caso di campioni fluorescenti (ad esempio in presenza di agenti sbiancanti), si utilizza un filtro (UG11), posizionato tra la sfera integrata e il campione, che blocchi la maggior parte delle radiazioni dovute alla fluorescenza,
- Si registra la trasmittanza tra 290-400 nm,
- Si calcola così UV-A e UV-B:

$$\text{UVA} = \sum_{\lambda=315}^{400} T(\lambda)$$

$$UVB = \sum_{\lambda=290}^{315} T(\lambda)$$

Si calcola il valore finale di UPF usando i valori tabulati di $E(\lambda)$ e $\varepsilon(\lambda)$ [Tab. 1]. Nelle figure 2,3 e 4 sono riportate le curve spettrali e i valori di UPF ottenuti da molte varie prove sperimentali eseguite su diversi tessuti.

Dalle misure effettuate nel nostro Laboratorio e da risultati di prove interlaboratorio si è potuto rilevare che il valore sperimentale di UPF dipende in modo predominante dalle condizioni di irraggiamento del campione (angolo).

4. Parametri che influenzano il valore di UPF

La trasmittanza ai raggi UV e quindi il valore finale UPF di un tessuto dipende da diversi parametri, riguardanti la costruzione e la lavorazione del tessuto.

Osserviamo i più significativi:

Struttura

Il fattore di copertura di un tessuto ortogonale o a maglia è un parametro di notevole importanza.

E' ovvio che a minori spazi fra filo e filo (porosità) corrisponde una minore trasmittanza negli UV e maggiore sarà la protezione [1].

Conseguentemente anche le proprietà elastiche possono influenzare tale parametro.

A tale proposito studi sperimentali hanno dimostrato che la trasmittanza delle Radiazioni UV aumenta linearmente con lo stiramento, dipendentemente dal tipo di maglia e dal peso del tessuto.

Una trasmittanza delle radiazioni UV iniziale pari a 2.5% (UPF = 40) dopo uno stiramento del tessuto di circa 7% diventa pari a 5% (UPF > 20).

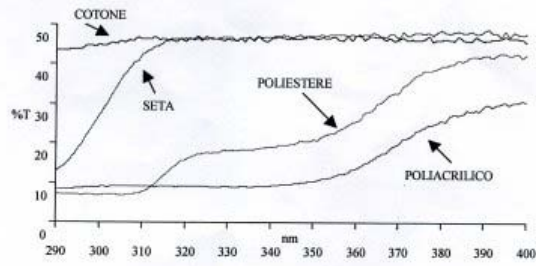


Figura 2: Trasmissione di differenti tessuti non tinti

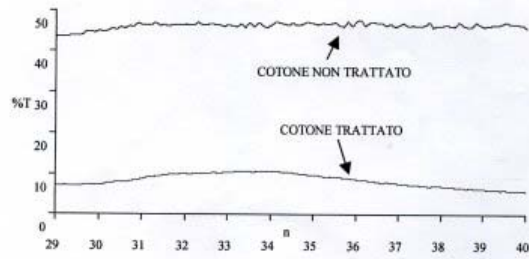


Figura 4: Trasmissione cotone non trattato (UPF=2.2) e cotone con assorbente UV (UPF=15)

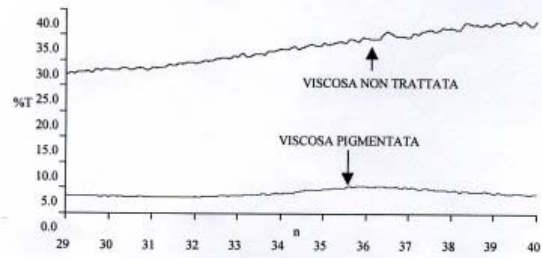


Figura 3: Trasmissione viscosa non trattata (UPF=3.4) e viscosa pigmentata (UPF 31)

Tipo di fibra

La composizione fibrosa di un tessuto gioca un ruolo importante nell'assorbimento delle radiazioni UV. La struttura chimica di ogni materiale determina infatti le sue proprietà spettroscopiche.

In fig. 2 si nota, ad esempio come, a parità di altri parametri, la fibra di poliestere mostra migliori proprietà UV-assorbenti rispetto al cotone. Ciò è dovuto all'assenza in quest'ultimo di doppi legami coniugati e alla presenza nel poliestere di gruppi aromatici che assorbono nella regione UV.

Tintura

La trasmittanza UV di un tessuto si riduce quando il massimo di assorbimento dei coloranti si estende fino alla regione UV. Generalmente i tessuti tinti offrono maggiore protezione rispetto ai non tinti (Fig. 3), soprattutto nei toni intensi.

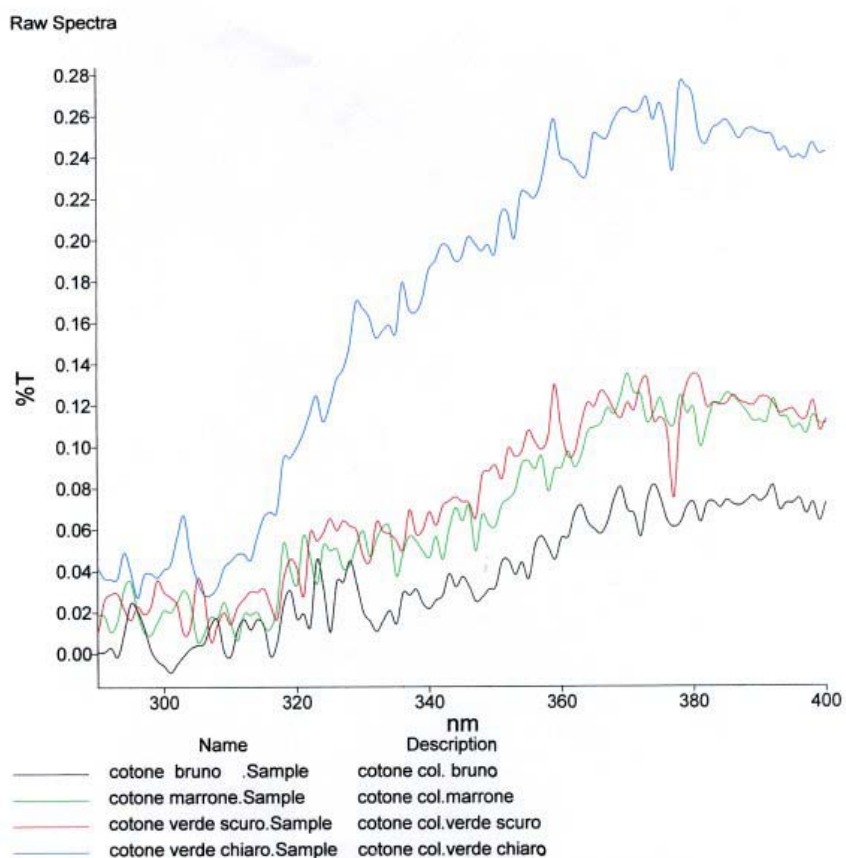
Tuttavia, oggi, si possono intraprendere diverse azioni correttive per migliorare le proprietà UV-protettive dei tessili, anche su tessuti leggeri, chiari e molto confortevoli all'indosso nelle stagioni calde.

Nel caso di alcuni tessuti, come il cotone, l'applicazione di determinate sostanze, assorbitori UV [6-7], usati formalmente come fotostabilizzatori, possono ridurre la trasmittanza nella regione UV delle fibre, migliorando così l'UPF del tessuto finale.

Un'altra possibilità è l'uso di opacizzanti e più in generale di pigmenti che, dipendentemente dal tipo e concentrazione, possono migliorare le proprietà UV-protettive delle fibre sintetiche e della viscosa.

Risultano caratteristici, inoltre, i tessili mimetici utilizzati in ambito militare protettivi anche dalle radiazioni UV per la loro stampa a pigmento (figura 5).

Fig. 5: Trasmittanza dei tessuti mimetici pigmentati (UPF > 50) colori: bruno, marrone, verde chiaro, verde scuro



5. Attivita' normativa

Negli ultimi anni, data l'importanza dell'argomento molti Paesi stanno cercando di formulare un metodo per la determinazione del livello di protezione di un tessile. L'Australia e la Nuova Zelanda sono stati i primi Paesi ad adottare una Norma Standard [8].

Lo standard si applica ai tessuti asciutti destinati all'abbigliamento e classifica il materiale in tre categorie (Tab.3):

Tabella 2: Classificazione dei campioni in accordo con AS/NZS 4399

UPF range	Categoria di Protezione UV	Reale trasmittanza UV (%)
15-24	Buona	6.7-4.2
25-39	Molto buona	4.1-2.6
>40	Eccellente	< 2.5

Recentemente anche il gruppo di lavoro 14 del Comitato Tecnico Europeo CENT/TC248 ha elaborato un metodo standard [5] riguardante la determinazione dell'UPF.

L'ultimo progetto di Norma [9] riguarda la marcatura e la classificazione dei tessuti UV protettivi, in cui si richiede un valore UPF > 30.

Altri Comitati di Normazione come ASTM, AATCC e CIE stanno lavorando a proposito, in particolare il Comitato Statunitense (ASTM), ha istituito 4 gruppi di lavoro che studiano e trattano il problema a diversi livelli:

Gruppo 1: misura della trasmittanza nella regione UV.

Gruppo 2: misure di protezione a livello biologico.

Gruppo 3: classificazione per l'uso appropriato di indumenti UV-protettivi.

Gruppo 4: etichettatura.

6. Conclusioni

Numerosi studi clinici e dermatologici hanno sperimentato i danni alla pelle, provocati dalla prolungata esposizione alle radiazioni Ultraviolette, dalle scottature, all'eritema, al cancro.

E' stato dimostrato che un'adeguata protezione della pelle può essere offerta dagli indumenti tessili.

In questo lavoro abbiamo messo in evidenza la possibilità di effettuare misure di trasmittanza nella regione UV (pur complessa per problemi di riflettanza diffusa nel tessuto), e da questa risalire all'indice UPF di un prodotto tessile.

La conoscenza puntuale di tale valore è di notevole importanza dal momento che siamo in grado, così, di intervenire in fase di produzione del tessile, con opportuni additivi (sostanze assorbitori UV, pigmenti, ecc) e lavorazioni (fattore di copertura, proprietà elastiche, ecc) per migliorare l'assorbimento UV di un tessuto e quindi il grado di protezione dai raggi UV dell'indumento finale, per una destinazione d'uso più mirata e un miglior confort.

Bibliografia

1. B. Bohringer, G. Schindling, U. Schon, D.Hanke, K. Hoffman, P. Altmeyer, M.L. Klatz, *Melliand Textilber.* 78 (1997) 522-525.
2. R.Hilfiker, W. Kaufmann, G. Reinert, E. Schidt, *Textile Res.J.* 66 (1996) 2, 61-70
3. R.M.Sayre, *Cosmetics & Toiletries* 108, (1993), 111-114
4. Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), Research Note. A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in Human skin, *CIE J.* (1987) 17-22
5. European standard EN 13758-1 (1999)
6. M. Fossel, U. Gassan, B. Koxsel, B. Terrier, *Melliand Textilber* 7-8 (1997) E 111
7. F.Palancin, *Melliand Textilber* 7-7 (1997) E 113
8. Australia/New Zealand standard AS/NZS 4399:1996
9. European standard EN 13758 –2 (2003)

Misure di colore della superficie del titanio anodizzato

BARBARA DEL CURTO

DIPARTIMENTO DI CHIMICA MATERIALI E INGEGNERIA CHIMICA
"GIULIO NATTA", POLITECNICO DI MILANO
via Mancinelli 7, Milano, Italia, Tel 02/2399-3108/7816, Fax 02/2399-3180/7811
barbara.delcurto@polimi.it

MARIAPIA PEDEFERRI

DIPARTIMENTO DI CHIMICA MATERIALI E INGEGNERIA CHIMICA
"GIULIO NATTA", POLITECNICO DI MILANO
via Mancinelli 7, Milano, Italia, Tel 02/2399-3110, Fax 02/2399-3180
mariapia.pedeferrri@polimi.it

1. Introduzione

Il titanio è l'ultimo entrato nella rosa dei metalli industrialmente importanti. Utilizzato fino agli anni '60 solo nel campo delle applicazioni militari, soprattutto aerospaziali e nautiche, per le sue ottime caratteristiche meccaniche e di leggerezza, passa negli anni '70 grazie alla sua resistenza alla corrosione anche a quello dell'industria chimica ed elettrochimica e poi negli anni '80 per la sua biocompatibilità al settore della bioingegneria. Il titanio conosce oggi un momento di grandi potenzialità applicative in quei settori industriali in cui è possibile far coincidere le proprietà ingegneristiche del materiale con la sua dimensione espressiva sensoriale, garantendo un ruolo di primo piano al progetto di design.

La superficie del titanio normalmente è ricoperta da un film protettivo di pochi nanometri di spessore. Sottoponendo il titanio ad ossidazione anodica è possibile ottenere un'ampia gamma di colori per effetto del fenomeno dell'interferenza.

Scopo di questo lavoro è studiare e caratterizzare le proprietà cromatiche del titanio ossidato. I campioni colorati sono stati sottoposti a prove che consentono di misurarne colore e spessore dell'ossido. Mostriamo come più elevato è il voltaggio a cui è stato ottenuto un colore più elevato è lo spessore dell'ossido e come per finiture superficiali diverse, anodizzate allo stesso voltaggio, si ottenga un'uguale misura di colore ma diversa lucentezza superficiale.

2. I colori di interferenza

Quando il titanio viene ossidato presenta sulla superficie dei colori che non sono dovuti alla presenza di pigmenti bensì al fenomeno dell'interferenza che verrà brevemente descritto di seguito. Quando osserviamo un oggetto ricoperto da una sottile pellicola trasparente illuminato con luce bianca, che come è noto contiene

tutti i colori, il nostro occhio è raggiunto da due onde luminose sovrapposte: una riflessa dalla faccia della pellicola a contatto con l'atmosfera e l'altra da quella a contatto con il metallo (Fig.1). La seconda onda luminosa effettua in più, rispetto alla prima, un doppio attraversamento della pellicola e raggiunge pertanto il nostro occhio con un ritardo rispetto alla prima. Questo ritardo provoca l'eliminazione di una componente cromatica e quindi la comparsa del colore complementare. Ad esempio se l'estinzione riguarda la componente blu, verde o gialla la superficie appare gialla, rossa malva o blu. In effetti l'interferenza non ha luogo solo per un colore (cioè per una certa lunghezza d'onda) ma per una o più bande di lunghezze d'onda e non solo alcune di queste vengono eliminate, altre vengono indebolite.

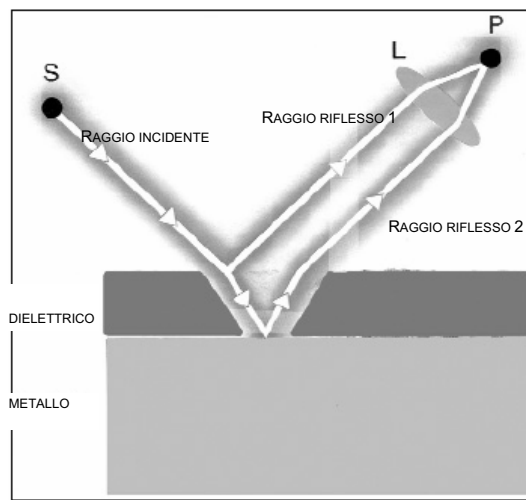


Fig. 1. Interferenza tra due onde riflesse

La componente cromatica che viene eliminata o indebolita e quindi il colore di interferenza che alla fine appare, dipendono dal ritardo tra le due onde e dunque dallo spessore della pellicola. In pratica l'eliminazione di una banda e quindi l'apparizione della tinta complementare ha luogo quando lo spessore dell'ossido è tale che i raggi riflessi dalla superfici interna ed esterna risultano sfasati di mezza lunghezza d'onda o di un numero dispari di mezza lunghezze d'onda (Fig.2). Per questo la stessa tinta, o meglio tinte simili si ripetono più volte al crescere dello spessore dell'ossido.

Si avrà quindi intensità massima [2, 3] ovvero interferenza costruttiva se:

$$2nd = ml \quad m = 0, 1, 2, 3... \quad (1)$$

mentre la condizione di interferenza distruttiva si ha in corrispondenza dei minimi di intensità:

$$2nd = (m + \frac{1}{2})l \quad m = 0, 1, 2, 3... \quad (2)$$

dove n e d sono rispettivamente l'indice di rifrazione e lo spessore dell'ossido di titanio.

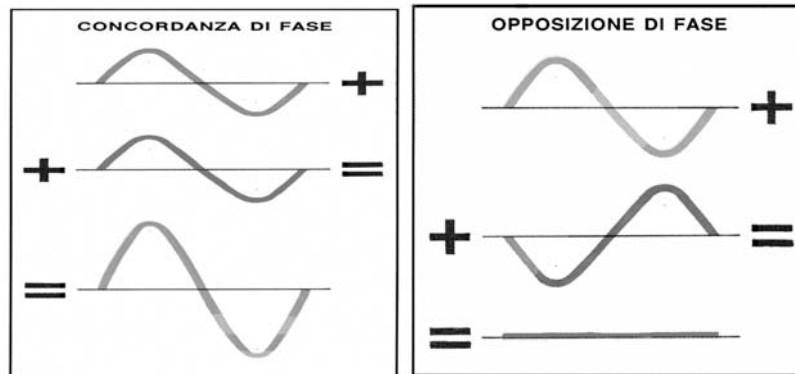


Fig. 2. Interferenza costruttiva e interferenza distruttiva [3]

I colori di interferenza possono essere misurati e quantificati secondo diverse notazioni come il Munsell e il sistema CIE.

Mediante prove di spettrofotometria sono stati caratterizzati colori di interferenza del titanio anodizzato misurandone il colore mediante i parametri CIELab.

3. Materiali e metodi

Sono stati caratterizzati campioni di titanio grado 2 anodizzati secondo il metodo descritto nel brevetto EP 1 199 385 A2 [1], che consiste in una doppia anodizzazione in soluzioni diluite di acidi alogenidrici cloridrico e la seconda in acido fosforico. Preliminarmente all'anodizzazione è stato effettuato uno sgrassaggio delle superfici con acetone e, ove necessario, un decapaaggio chimico. La metodologia utilizzata, descritta nel brevetto EP 1 199 385 A2 -[1], consente mediante una doppia anodizzazione la colorazione anodica del titanio garantendo, rispetto a tutti gli altri trattamenti oggi presenti sul mercato, una maggiore gamma di colori e una maggiore brillantezza e saturazione dei colori stessi. Sui campioni anodizzati sono state eseguite prove di spettroscopia ottica (spettrofotometro portatile CM-2600d Minolta) e microscopia ottica.

4. Risultati e discussione

4.1 Micrografia

La figura 3 mostra un campione di titanio colorato e una sua micrografia che evidenzia la colorazione omogenea di tutti i grani presenti sulla superficie del campione.

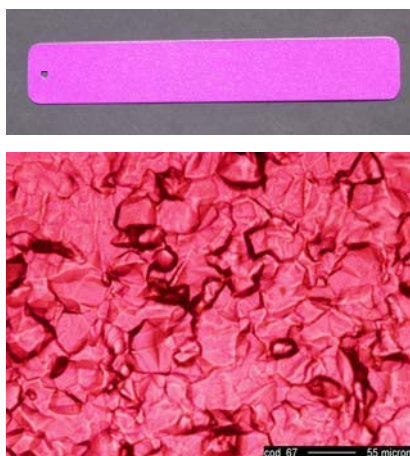


Fig. 3. Fotografia e micrografia del campione anodizzato a 67 V

4.2 Prove di spettrofotometria

In figura 4 sono riportate le curve spettrofotometriche che descrivono l'andamento della riflettanza (%) in funzione della lunghezza d'onda, per i campioni anodizzati con doppia anodizzazione ai seguenti potenziali: 30V 55V 67V e 92V. In questo caso la riflettanza varia tra 10 e 65%.

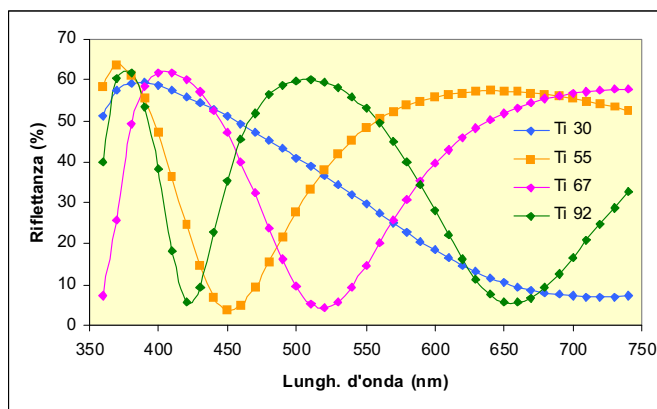


Fig. 4. Curve spettrali dei campioni con doppia anodizzazione

4.3 Parametri CIELAB

Il sistema proposto dalla *Commission Internationale de l'Eclairage* nel 1931 [4, 5] definisce il colore di un oggetto facendo corrispondere una terna di valori numerici a ciascun punto colore. Questo metodo si fonda sul concetto che la sensazione di

colore si può riprodurre miscelando opportunamente tre luci colorate aventi composizioni spettrali molto diverse l'una dall'altra e tali che nessuna delle tre possa essere ottenuta per combinazione delle altre due (Sorgenti Primarie).

I tre numeri misurano qualitativamente e quantitativamente la sensazione di colore provata da un osservatore che abbia una visione dei colori standardizzata come normale (Osservatore Normale o Standard).

Lo spazio colorimetrico $L^*a^*b^*$ è attualmente uno dei più conosciuti spazi per la misurazione del colore di un oggetto ed è ampiamente usato in tutti i campi. È uno degli spazi colorimetrici uniformi definiti nel 1976 dalla CIE.

In questo spazio colorimetrico, L^* indica la luminosità, mentre a^* e b^* sono le coordinate di cromaticità: $+a^*$ è la direzione del rosso, $-a^*$ quella del verde, $+b^*$ è la direzione del giallo e $-b^*$ quella del blu.

A pari luminosità (L^* costante), all'aumentare del valore assoluto di a^* e b^* (ovvero allontanandosi dal centro del piano) la saturazione del colore aumenta. Valori di a^* negativi indicano un avvicinamento al verde mentre valori positivi descrivono un avvicinamento al rosso. Valori di b^* negativi indicano un avvicinamento al blu, mentre valori positivi descrivono un avvicinamento al giallo.

Nel sistema CIE Lab, le differenze di colore, espresse in termini di distanza tridimensionale tra due punti dello spazio colorimetrico, corrispondono abbastanza fedelmente alle differenze percepite dall'occhio.

In figura 5 sono riportati i valori di Lab per i campioni anodizzati.

I valori riportati nelle figure accanto ai punti colore corrispondono al potenziale al quale i diversi campioni sono stati anodizzati. All'aumentare del potenziale finale applicato i punti colore formano nel piano ab una spirale in senso orario. Nel caso dei campioni anodizzati con brevetto i valori di a e b sono in valore assoluto maggior rispetto a quelli ottenuti per anodizzazione in solforico a indicare una maggiore saturazione dei colori ottenuti.

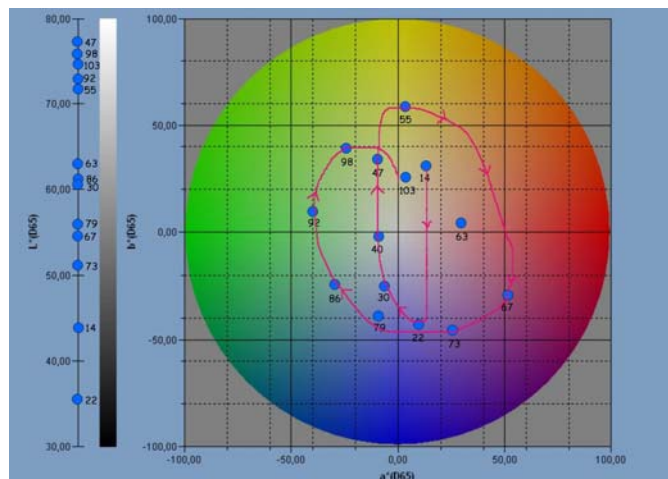


Fig. 5. Disposizione a spirale dei provini della scala cromatica di titanio grado 2 con doppia anodizzazione al crescere del potenziale

4.4 Calcolo dello spessore dell'ossido

Con il trattamento di doppia anodizzazione si ottiene un film sottile di ossido con struttura amorfa, il cui indice di rifrazione è presente in letteratura [5] come valore mediato sull'intero spettro di lunghezze d'onda del visibile. Questo valore si attesta intorno a 2,2 e con esso, si è risaliti per via analitica agli spessori dell'ossido dei vari provini, utilizzando i massimi e i minimi delle curve spettrofotometriche, attraverso le condizioni di interferenza costruttiva (Eq. 1) e distruttiva (Eq. 2).

È stato quindi possibile relazionare il valore del potenziale con lo spessore dell'ossido. Diagrammando i risultati ottenuti si nota che l'andamento degli spessori in funzione del potenziale è di tipo lineare (figura 6). Il calcolo è stato effettuato ricavando dalle curve spettrofotometriche le lunghezze d'onda dei massimi e dei minimi e sapendo che m (Eq. 1, 2) assume lo stesso valore per un dato massimo e il minimo che lo precede e che questo valore cresce al diminuire della lunghezza d'onda.

L'intercetta della retta potenziale/spessore risulta diversa da zero perché anche prima dell'anodizzazione finale è presente un film di ossido ottenuto durante la prima ossidazione (pretrattamento).

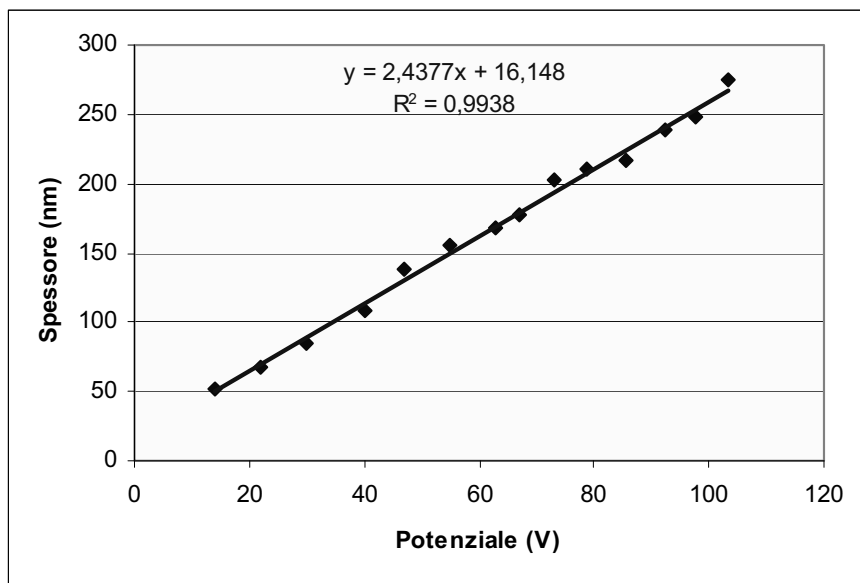


Fig. 6. Grafico potenziale-spessore per i campioni della scala cromatica con doppia anodizzazione

4.5 Calcolo delle curve spettrali per campioni con differenti finiture

Oltre allo spessore, a definire le proprietà cromatiche ed in particolare a creare le diverse sfumature, intervengono anche altri fattori quali la finitura superficiale del metallo (Fig.7).

In figura 8 sono riportate le curve spettrali di tre finiture superficiali (liscia, sabbiata e milerighe) diverse per titanio anodizzato a 60 V. I campioni appaiono di colore giallo ma con sfumature differenti. Si può notare che le curve spettrali dei tre campioni presentano un andamento simile ed in particolare che i massimi ed i minimi delle tre curve di riflettanza corrispondono alle stesse lunghezze d'onda, e quindi allo stesso colore; la percezione visiva dei campioni è invece funzione della finitura superficiale. In effetti il valore della riflettanza per una stessa lunghezza d'onda decresce passando dalla finitura liscia a quella sabbiata a quella millerighe.

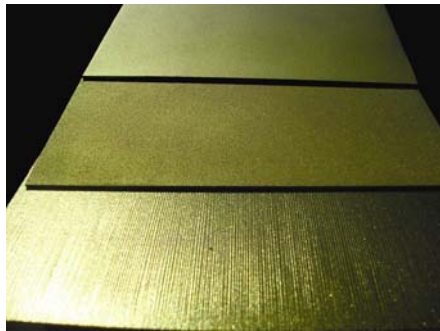


Fig. 7. Campioni con differenti finiture superficiali

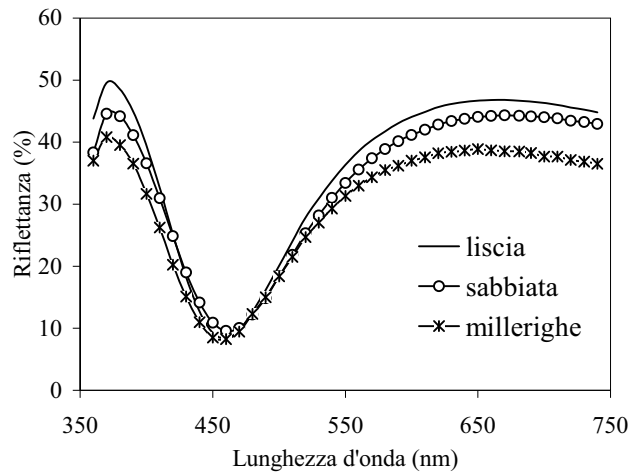


Fig. 8. Curve spettrali per le tre finiture superficiali per il titanio anodizzato a 60V

5. Conclusioni

In questo lavoro sono stati studiati e quantificati i colori che appaiono alla superficie del titanio anodizzato per effetto del fenomeno dell'interferenza.

Dai diagrammi di cromaticità dei campioni in titanio commercialmente puro (titanio grado 2) si nota l'alta saturazione delle tinte.

Il calcolo degli spessori del film di ossido tramite le relazioni di interferenza ha rivelato un andamento lineare dello spessore col potenziale di anodizzazione.

È possibile affermare anche che a parità di potenziale applicato e quindi a parità di colore ottenuto la lucentezza varia in funzione della finitura superficiale.

Bibliografia

1. EP 1 199 385 A2 – 19.10.2001 “Method of coloring titanium and its alloys through anodic oxidation”
2. Pedferri, P., *Titaniocromia (e altre cose)*, Interlinea, Novara 1999.
3. White, M. A., *Properties of materials*, Oxford University press, 1999.
4. Tilley, R., *Colour and optical properties of materials*, England Wiley, 2000.
5. Frova, A., *Luce colore visione* Rizzoli, 2000.
6. Palik, E.D., *Handbook of Optical Constants of Solids*, Academic Press, Boston 1991.

Restauro digitale del colore: il caso de “Il racconto della Stura”

ROBERTO BONISOLI, ALESSANDRO RIZZI
DIPARTIMENTO DI TECNOLOGIE DELL'INFORMAZIONE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
Via Bramante, 65 – 26013 Crema
rizzi@dti.unimi.it

1. Introduzione

I tre quarti delle pellicole al nitrato oramai non esistono pi [1]. Il materiale cinematografico, ovvero il nitrato di celluloido, un materiale chimico instabile, altamente infiammabile e al passare del tempo soggetto a forte degrado dovuto a umidità e temperatura. Questo degrado irreversibile e in molti casi il restauro fotochimico di pellicole cromaticamente degradate rischioso e non sempre possibile. In questi casi, il restauro digitale del colore pu rivelarsi un metodo prezioso.

Inoltre, non esiste una teoria rigorosa del restauro [1]. Si tratta di un settore relativamente giovane e con aspetti tecnici complessi, variegati e soggetti a forte mutamento e sviluppo, si pensi per esempio al recente ingresso del digitale nella fase di produzione lavorazione e distribuzione.

2. Terminologia

Prendiamo spunto da [1] e presentiamo alcuni termini base, comuni in questo settore. Questa presentazione ci pare interessante per dare un'idea di massima delle problematiche e degli approcci del restauro cinematografico.

GUASTO: Danno ad un elemento, subito durante la sua storia.

ERRORE: Modifica al film che non appartiene al testo/film ma che inserita durante la vita dell'elemento stesso:inquadrature invertite, inquadrature speculari, didascalie rovesciate. Vi anche l'errore durante la riproduzione: stampa fuori registro, copie sopra e sotto esposte..

DIFETTO:Danno o errore (visivo e sonoro) che fa parte integrante del film originale. Questa distinzione viene fatta prima del restauro, questo per evitare di incappare in operazioni che potrebbero portare ad un falso storico.

LACUNA: Mancanza o interruzione nel tessuto narrativo. Si distinguono lacune nella struttura narrativa (inquadratura – scena - episodio) e lacune all'interno di un singolo fotogramma (perdita localizzata del colore – abrasioni -...) Sorge il problema di segnalare o meno la lacuna o di colmarla con oggetti provenienti da altro materiale.

VERSIONI: Differenze (di montaggio – di colore – formale o figurativo) tra bobine dello stesso film, generate dalla censura, produzione, distribuzione, regista (restauratore).

PRESERVAZIONE: Intervento di conservazione attiva, intenta a trasmettere ai posteri il contenuto del reperto: intervento di sola duplicazione, senza apporre modifiche.

RESTAURO: costituito da interventi di duplicazione più raffinati che vanno a modificare il contenuto di singoli elementi, intento a recuperare le caratteristiche base (colore, contrasto ...).

RICOSTRUZIONE: Interventi sull'impianto del film e sul tessuto narrativo a livello di montaggio, partendo da materiali diversi e privi di didascalie.

Si arriva così alla definizione di due concetti fondamentali [1]:

Conservare significa essenzialmente duplicare. Il deterioramento delle pellicole originali essenzialmente dovuto al materiale estremamente infiammabile con cui costituita la pellicola stessa (nitrate) e dalla "semplice" proiezione che ogni volta inserisce graffi, sporizia deterioramento da trascinamento nel proiettore.

Restauro lo si ha quando interventi (manipolazioni o ri-montaggio) inseriscono differenze con il materiale originale.

3. Deterioramento e stato di conservazione

La statistica della situazione allarmante. Si stima che circa l'ottanta per cento delle produzioni prima del novecento sia andata distrutta. Il settantacinque per cento se si considerano i primi tredici anni dopo il novecento e circa il sessantacinque per cento dal tredici all'avvento del sonoro [1].

Fattori di deterioramento delle pellicole sono essenzialmente le condizioni di stoccaggio, la qualità materiale ed il suo trattamento.

Le fasi del deterioramento possono essere così schematizzate [1]: fragilità della pellicola, restringimento delle sue dimensioni, sbiadimento dei frames, strato di polvere che si sedimenta rendendo appiccicosa la pellicola e cancellando l'immagine fotografica, sgretolamento della pellicola in polvere di nitrate.

Con il tempo le tecnologie si sono evolute e anche i materiali per la composizione base delle pellicole cambiato. Si passati dal nitrate all'acetato di nitrate, ma anche esso vittima del deterioramento del tempo e tale problematica conosciuta come "sindrome dell'aceto": la pellicola assume colorazione marrone in modo tale che tutte le sequenze e immagini prendano una predominante magenta, nonché la pellicola assume un pungente odore molto simile all'aceto.

4. Restauro del colore

Per quanto riguarda il restauro del colore, vi sono numerose procedure chimiche, ma tutte prevedono la riproduzione dei colori solo per approssimazione [1]. Questo per l'impossibilità di ricreare i materiali e i coloranti dell'epoca.

Inoltre, spesso i colori rimasti nelle pellicole al nitrato sono molto sbiaditi, se non addirittura assenti, e ci rende ancora pi difficile riconoscere l'esatta intensità originaria.

In generale si possono considerare quattro sistemi per restaurare un film a colori:

1. Duplicare il nitrato sul materiale internegativo a colori, per poi stampare una copia positiva su pellicola a colori. In altri termini una copia fotografica diretta, ci significa che i colori, soprattutto quelli sbiaditi, vengono riprodotti cos come sono, senza considerare la duplicazione di tutti gli altri difetti presenti sulla pellicola.

Purtroppo in molti casi mancano i negativi originali e per effettuare operazioni di restauro si ricavano i controtipi negativi direttamente dalle copie positive: in questo modo si minano le basi per un corretto equilibrio dei contrasti sui colori, essendo il contrasto relativamente elevato e comunque non coretto;

2. Ricostruzione delle tecniche originali. Questo metodo stato intrapreso da Paul Read che sostiene l'ottimizzazione dei risultati attraverso la ricostruzione fedele delle tecniche di allora, seguendo alla lettera le indicazioni che tut'oggi si hanno.

Questa tecnica per richiede un minuzioso e preciso studio su tutto il materiale reperibile sull'opera da restaurare. Ad esempio la qualità e le caratteristiche del colore originale, della composizione delle emulsioni della bobina originale, nonch uno studio approfondito sulle tecniche e sulle caratteristiche del supporto ove andrà a risiedere la copia restaurata.

3. Metodo Desmet. Questa tecnica cambia i punti di partenza teorici: utilizza i negativi in b/n al posto dell' internegativo a colori per le pellicole imbibite e virate. E' il pi utilizzato e quello che garantisce i risultati migliori. Conserva per tutti i limiti dell'approccio chimico al restauro [4,6]
4. Il restauro digitale. la tecnica pi recente e innovativa ed l'oggetto di questo articolo.

5. Il restauro de "Il racconto della Stura"

Il restauro presentato in questo articolo riguarda "il racconto della Stura", un documentario di Ermanno Olmi girato nel 1955 dalla durata di 8 minuti e 51 secondi che documenta la realizzazione di una grande opera nella valle Stura di Demonte, dove l'Enel aveva predisposto una centrale idroelettrica costruita appunto nei primi anni '50:

<http://magazine.enel.it/natura/regioni/piemonte/sentieri/stura/index.asp>

"Il racconto della Stura" stato gentilmente concesso in formato digitale dalla Cineteca Nazionale (si vedano i ringraziamenti).

Le scansioni della pellicola hanno portato all'utilizzo di 13280 frames di 1,18Mb per 720x576 pixels in formato bitmap.

Il software utilizzato si basa sull'algoritmo ACE (Automatic Color Equalization) [2,3] la cui principale caratteristica la correzione del colore effettuata mediante

l'adattamento a dominanti cromatiche non conosciute a priori risolvendo il problema della costanza cromatica (predominante rossa nel caso di pellicole di acetato deteriorate) ed eseguendo un'estensione del range dinamico dell'immagine stessa.

Il lavoro di restauro ha visto varie fasi di elaborazione, sia teorica che pratica. Prima di utilizzare qualsiasi accorgimento si è ricercato il materiale inerente sulla pellicola in questione.

Si è poi suddiviso l'intero girato in scene da cui sono risultate 95 sequenze compresi i titoli di testa e la chiusura (animazioni e titoli). Questa suddivisione è necessaria per l'utilizzo del tool ACE for Film come vedremo in seguito.

L'intero processo di restauro, considerando l'identificazione di un set di parametri idonei e il tempo di computazione delle macchine è stato approssimativamente di 3 mesi utilizzando 2 calcolatori dalle seguenti specifiche tecniche: processore AMD Athlon xp 1500+, 1024Mb DDR ram e processore Intel centrino 1.7Gh, 1024 DDR2 ram. Il materiale restaurato, comprensivo dei test e delle sequenze di test ammonta a circa 94Gb di data storage. Il restauro è stato controllato su due monitor calibrati 20 pollici LG Studio works 20i CRT.

6. Soluzione proposta

Come accennato prima si è restaurato l'intero documentario utilizzando il Tool ACE for film. Questo tool ha come caratteristica la correzione locale del colore mediante una tecnica basata su un approccio percettivo del sistema visivo umano. Per maggiori dettagli si veda [4,5,6,7]

Per la natura del tool e dell'algoritmo ACE si deve impostare un set di parametri iniziali. Per questo motivo vi è la necessità di suddividere i vari filmati in esame in sequenze e identificarne i key frames. Si utilizzano quindi i key frames per determinare il giusto set di parametri per poi applicarli all'intera sequenza identificata in precedenza.

Questo procedimento è dettato dalla natura dei film, in quanto ogni cambio di inquadratura, ogni taglio nella sequenza nella fase di montaggio comporta una variazione di luminosità e di contenuto cromatico dell'intera scena.

In questo restauro si è voluto utilizzare il solo tool ACE senza apportare ulteriori interventi di prefiltraggio.

Il processo di restauro adottato prevede varie fasi. In successione si sono eseguiti i seguenti passi:

- 1- visionamento dell'intero filmato
- 2- suddivisione in sequenze
- 3- identificazione dei key frames
- 4- acquisizione su hard disk locale dai devices di storage delle sequenze interessate (da 0 a 95)
- 5- utilizzo di ACE for Films e determinazione dei settaggi base
- 6- analisi dei risultati tramite il tool sperimentale sviluppato dal gruppo
- 7- scelta dei settaggi considerati validi

- 8- affinamento dei parametri
- 9- restauro della sequenza in esame tramite key frame di riferimento (in questa fase si ottengono tante sequenze restaurate quanti settaggi considerati validi precedentemente)
- 10- rimontaggio dei frame nell'intera sequenza scegliendo tra le sequenze restaurate per ottenere una fluidità visiva globale
- 11- analisi dei restauri finali con visione su diversi dispositivi: monitor LCD, CRT; televisione CRT, plasma.

7. ACE tool, parametri e immagini di riferimento

Il tool ACE for Films utilizzato appare nella sua sezione dedicata con questa interfaccia utente.(fig.1)

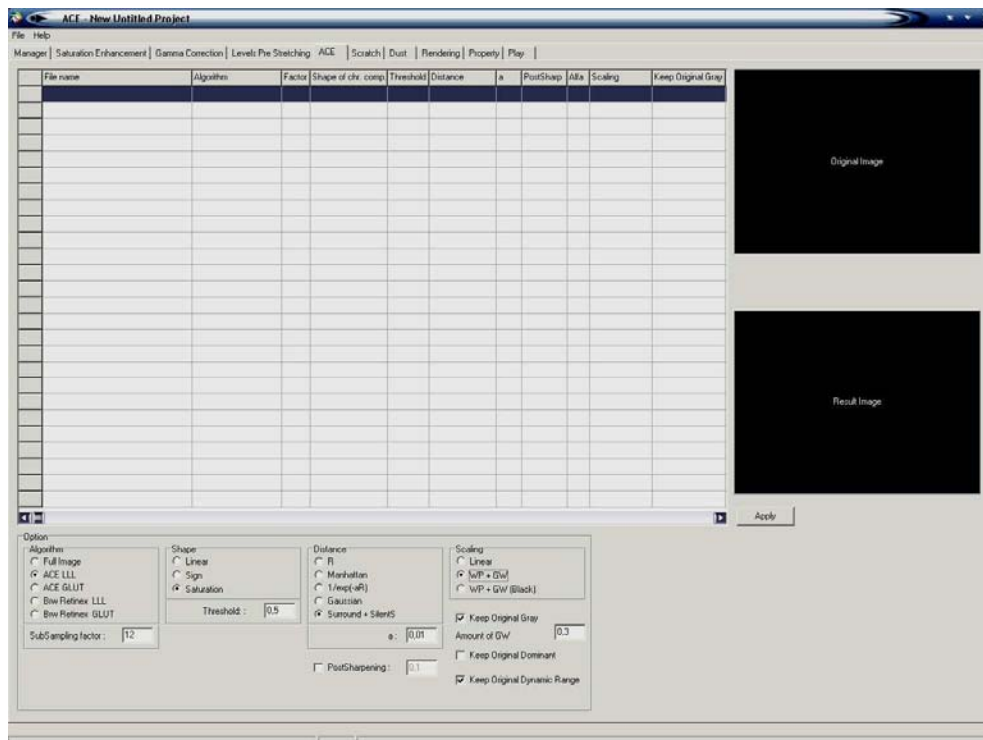


Fig. 1 – interfaccia utente di ACE for Films

L'utilizzo del tool si concentra sui settaggi nella parte inferiore dell'interfaccia, mentre vi è disponibile nella parte destra la preview sia delle immagini originali caricate che quella delle immagini restaurate. In fig.2 vi è il dettaglio della sezione descritta.

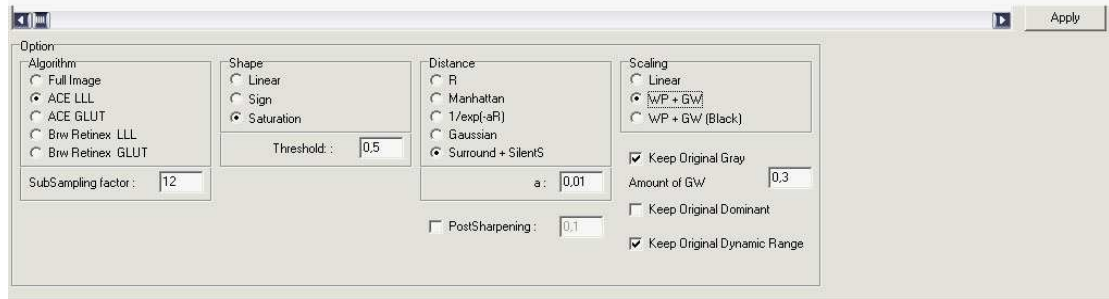


Fig. 2 – dettaglio dei parametri di ACE for Films

I test, l'analisi visuale, la trasposizione su vari devices di visualizzazione hanno portato all'utilizzo di un set dei parametri pari a 7 configurazioni base. Esse sono:

	Algorithm	Subsamplingfactor	Shape	Threshold	Distance	Scaling	KOR	KOG
Setup1	ACE LLL	10	saturation	0,3	surround+silents	WP+GW	0,5	yes
Setup2	ACE LLL	10	saturation	0,3	surround+silents	WP+GW	0,3	no
Setup3	ACE LLL	10	saturation	0,5	surround+silents	WP+GW	0,2	yes
Setup4	ACE LLL	10	saturation	0,3	surround+silents	WP+GW(B)	0,2	yes
Setup5	ACE LLL	10	saturation	0,5	surround+silents	WP+GW	0,3	yes
Setup6	ACE LLL	10	saturation	0,3	R	WP+GW	0,3	Yes
Setup7	ACE LLL	12	saturation	0,5	R	WP+GW(B)	0,3	yes

Queste configurazioni base, di volta in volta, venivano ottimizzate per le varie sequenze in fase di testing sui singoli key frames.

Circa i parametri dell' algoritmo base, si pu scegliere di processare tutta l'immagine (full image), come fatto in questo restauro, oppure, si pu ottenere pi velocemente una preview utilizzando metodi di velocizzazione mediante sottocampionamento come ACELLL [8] oppure ACEGLUT [9]. In quest'ultimo caso, il subsamplingfactor indica il livello scelto di sottocampionamento.

Il valore di shape (o slope) indica il tipo e il valore di contrasto che si vuole ottenere sul frame. In questo caso *saturation* indica un valore compreso tra i 45 gradi e la funzione segno [2,3]

Il parametro di scaling il modo con il quale viene rimappata la matrice intermedia generata dal processo sui tre canali primari, per scalarli nel range del dispositivo di visualizzazione, tra 0 e 255 nel caso di una profondit colore di 8bit.

Sono stati implementati 3 metodi, lineare (mappatura lineare tra il punto pi chiaro e quello pi scuro), whitepatch/grayworld (mappatura lineare tra il punto pi chiaro e quello intermedio) e whitepatch/grayworld con black (doppia mappatura lineare tra il punto pi chiaro e quello intermedio e tra quest'ultimo e il pi scuro), questo metodo preserva le sequenze scure.

L'utilizzo della funzionalità "Keep Original Dynamic Range (KODR) ha permesso di gestire la poca informazione colore sul fotogramma, mantenendo intatta la poca distribuzione rimasta del range dinamico dell'originale, andando a ritoccare i valori del contrasto, aumentando così i dettagli.

Il parametro Keep Original Gray (KOG) controlla la luminosità della scena, mappando la dinamica riesce a determinare il grigio medio dell'immagine finale.

8. Analisi dei risultati

In questa fase dello sviluppo del tool la scelta dei risultati finali è soggettiva. Stante il fatto che la componente del giudizio finale di un esperto di restauro cinematografico è una cosa fondamentale, algoritmi di valutazione automatica della qualità visiva sarebbero di grande aiuto per sveltire il processo di revisione finale. Programmi di questo tipo sono a tutt'oggi un campo aperto di ricerca sul quale il nostro gruppo ha progetti aperti.

Per questo filmato le scelte delle sequenze finali si sono basate su:

- Scelta fotografica: quando i contrasti, la saturazione e di conseguenza i dettagli parevano ottimali secondo il giudizio di professionisti del settore. La scelta è stata supportata dall'analisi istogrammi messa a disposizione dal tool ACE tool for Films.
- Scelta naturale: quando l'impressione generale delle riprese è coerente con le condizioni della scena ripresa. Ovvero analizzando le varie sequenze si è cercato di capire in quali fasi della giornata e condizioni atmosferiche è stata girata per ridargli la giusta naturalezza cercando di rispettare le scelte del regista
- Continuità visiva: quando in fase di ricostruzione si vanno ad affiancare le sequenze trattate in un primo momento separatamente, la scelta di una sequenza influisce così la scelta delle adiacenti tesa ad evitare bruschi cambi nella percezione del colore, contrasto e luminosità.

L'analisi dell'istogramma e i valori restituiti dal tool di ACE (fig. 3) permette al di là delle scelte soggettive, un utilizzo ottimale dei parametri, soprattutto in fase di scelta del set di valori. Come si nota vi è a disposizione l'istogramma dei 3 canali RGB, dei singoli canali R G e B, nonché, nella parte a destra dell'interfaccia, alcuni valori indicativi come la media sull'istogramma, la deviazione standard, valori di gamma, e indicazioni sull'ammacco di nero e bianco nella singola immagine.

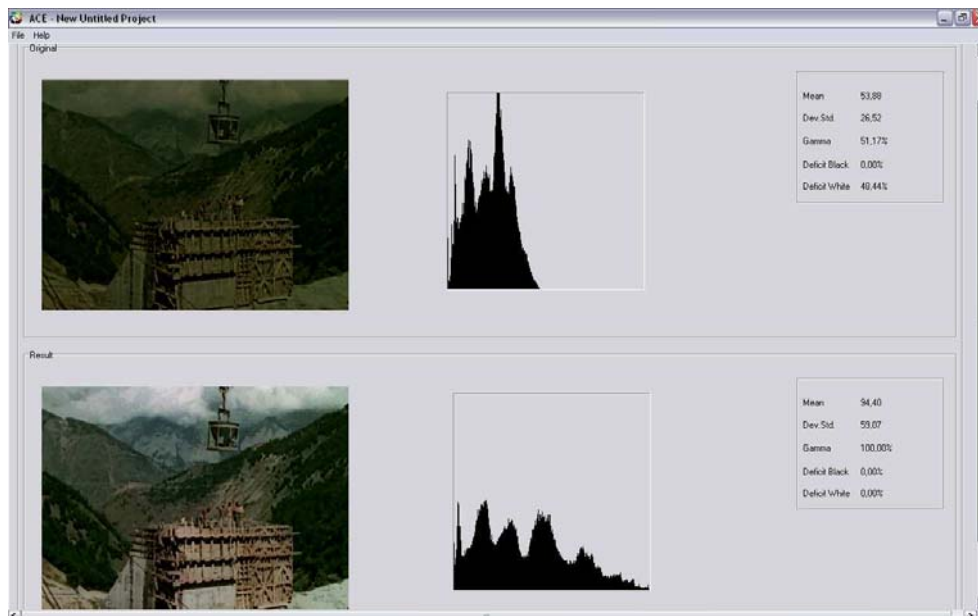


fig. 3 Esempio di “property tool”

9. Casi particolari

Durante il procedimento di restauro si sono riscontrati dei casi limite dove il tool ACE non ha potuto effettuare una ottimizzazione soddisfacente. Questi casi sono concentrati per “il racconto della Stura” nelle sequenze centrali e tutti sono adiacenti tra loro (fig. 4). Si è notato come alcuni singoli frame siano “vignettati” con una predominanza rossa, mentre il centro dell’immagine è perfettamente restaurato.

Da un’analisi dell’originale e dell’immagine restaurata, si può notare come questo sia dovuto al livello di degrado della pellicola che rende difficoltoso ogni tentativo di correzione nelle parti più esterne fino al bordo.

Questo fenomeno potrebbe essere determinato non solo dal processo di invecchiamento della pellicola, ma anche dall’effetto di accartocciamento che le bobine subiscono nel tempo e/o alle cattive condizioni di stoccaggio.

Questo problema apre un nuovo fronte di ricerca che sarà oggetto di attenzione nei prossimi lavori.

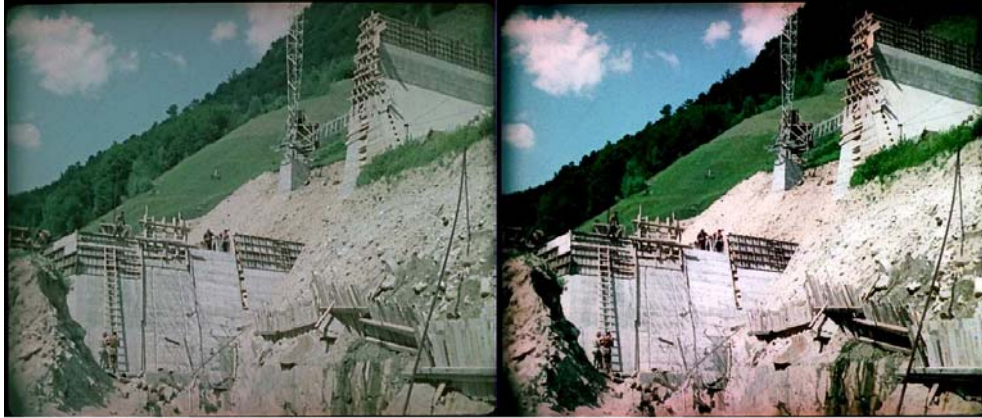


fig. 4 Esempio di frame “vignettato”

10. Conclusioni

Si è voluto in questo restauro, porre l’attenzione sulla flessibilità e la bontà dell’algoritmo ACE con le varie funzioni aggiuntive incorporate per ottimizzarlo nel campo del restauro cinematografico semi automatico.

Si vuole sottolineare come con pochi parametri gestiti in una sola schermata si dia la possibilità di utilizzare un buono strumento per il recupero non supervisionato del colore della saturazione e dei contrasti. Le Fig. 5, 6, 7, 8, 9 mostrano alcuni esempi del risultato finale.

Il tool tutt’ora in fase di sviluppo presso il Dipartimento di Tecnologie dell’Informazione dell’Università di Milano. Sono previste aggiunte di nuovi strumenti di restauro quali scratch and dust remover e anti flickering.

Una volta sviluppate queste funzionalità si potrà considerare ACE tool for Films una valida risposta al problema del restauro digitale, con l’interessante peculiarità del suo semi automatismo.

Ammiccando allo slogan ben noto a chi lavora in ambito del restauro cinematografico: “nitrate can’t wait!”

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano Sergio Toffetti, direttore e coordinatore della Cineteca Nazionale per la collaborazione e per aver fornito il materiale filmico in formato digitale e Irela Nunez da Pozo per il supporto tecnico.

Si ringrazia inoltre il Ministero dell’Istruzione, dell’Università e della Ricerca per il sostegno a questo lavoro col progetto di ricerca PRIN del MIUR 2005115173.

Appendice – immagini di riscontro



fig. 5



fig. 6

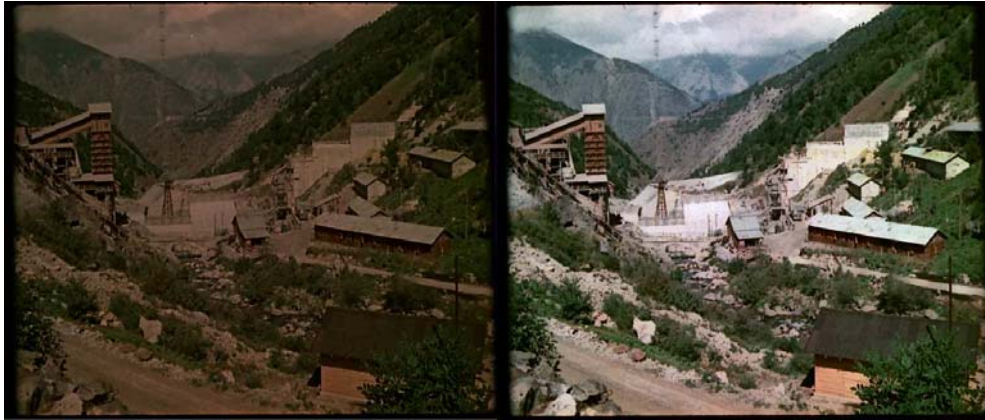


fig. 7



fig. 8



fig. 9

Bibliografia

1. L. Comencini, M. Pavesi, "Restauro, conservazione e distruzione dei film", Editrice il Castoro, Quaderni Fondazione Cineteca Italiana. 2001.
2. A. Rizzi, C. Gatta, D. Marini, "A New Algorithm for Unsupervised Global and Local Color Correction", *Pattern Recognition Letters*, Vol 24 (11), pp. 1663-1677, July 2003.
3. A. Rizzi, C. Gatta, D. Marini, "From Retinex to Automatic Color Equalization: issues in developing a new algorithm for unsupervised color equalization", *Journal of Electronic Imaging*, Vol 13 (1), pp. 75-84, January 2004.
4. A. Rizzi, C. Gatta, C. Slanzi, D. Marini, "Digital techniques for unsupervised color film restoration", *MIDECH05, Multimedia.Information@Design for Cultural Heritage*, Milano, 8 Marzo 2005.
5. A. Rizzi, M. Chambah, D. Lenza, B. Besserer, D. Marini, "Tuning of perceptual technique for digital movie color restoration", *Electronic Imaging 2004*, S. Jos (California - USA), January 2004.
6. M. Chambah, A. Rizzi, C. Gatta, B. Besserer, D. Marini, "Perceptual approach for unsupervised digital color restoration of cinematographic archives", *Electronic Imaging 2003*, 21-24/01/03, S. Clara, California (USA).
7. C. Slanzi, A. Rizzi, "Restauro digitale del colore nelle pellicole cinematografiche: il caso de 'La ciudad en la playa'", *Prima Conferenza nazionale del Gruppo del Colore (SIOF)*, Pescara, 20-21 ottobre 2005.
8. C. Gatta, A. Rizzi, D. Marini, "Local Linear LUT Method for Spatial Color Correction Algorithm Speed-up" *IEE Proceedings IEE Proc. Vision, Image & Signal Processing*, Giugno 2006 - Volume 153, Issue 3, p. 357-363.
9. A. Artusi, C. Gatta, D. Marini, W. Purgathofer, A. Rizzi, "Speed-up Technique for a Local Automatic Color Equalization Model" *Computer Graphics Forum*, Volume 25 (2006), number 1 pp. 5-14.

Colore e architettura: un percorso geografico culturale nel colore ambientale tra storia e attualità

SILVIA RIZZO

LICEO ARTISTICO KLEE-BARABINO GENOVA
VIALE SAULI, 34 – 16121 GENOVA - TEL. 010 585577
gsonnewa@tin.it

Premessa

Nel contesto colore-architettura si propone un approfondimento sul colore ambientale che ha origine dal materiale raccolto in occasione del convegno svoltosi a Genova nel 2003 “Colore e ambiente urbano: tra storia e contemporaneità”.

Si tratta di un confronto di esperienze e ricerche tra loro diversificate dal punto di vista storico e dell’attualità e per le connotazioni legate alla situazione in diverse aree geografiche.

Genova, già definita nella sua memoria storica “Genua Picta” ha offerto una sede concreta e motivata di primaria importanza per l’ideazione e lo svolgimento del convegno.

Gli argomenti sono suddivisi in tre settori:

- 1 – Il colore e il patrimonio artistico della città;
- 2 – Il colore e il paesaggio urbano contemporaneo tra progetto e sperimentazione;
- 3 – Colore e ambiente in ricerche di altre nazioni.

1 – Il colore e il patrimonio artistico della città

Per la panoramica italiana, in riferimento agli interventi legati alla tradizione storica di Genova, Mario Tasso ha presentato nell’ambito della relazione “I Colori di Via San Lorenzo, le facciate non monumentali” il prestigioso restauro condotto con l’Ufficio Estetica Urbana del Comune di Genova e la complessa ricostruzione dei colori. Ogni edificio infatti presentava caratteristiche diverse anche architettoniche e di qualità costruttiva, oltre a varietà di stucchi lavorati, intarsi marmorei e basamenti, per cui è stato necessario coordinare contemporaneamente e armoniosamente sia i colori sia gli elementi stilistici. Il lavoro fu realizzato in occasione del vertice G8 del 2001, dando vita ad un ampio percorso pedonale che maestosamente collega il centro della Città al Porto e risultando un grandioso esempio di recupero che si pone attualmente all’attenzione internazionale.

Patrizia Falzone (*Il rilievo delle finiture dipinte e del colore del costruito storico*) ha illustrato metodi e finalità del restauro, messi a punto nell’attività didattica e scientifica anche nell’ambito della sua docenza in “Rilievo dell’Architettura” presso la Facoltà di Architettura di Genova. Restauro non solo costituito dalle tinteggiature delle facciate dipinte ma anche dai materiali; ad esempio la bicromia bianco grigia delle costruzioni medioevali genovesi e liguri, per cui il colore è

anche rappresentazione di eventi politici e sociali. Ha relazionato, quindi, esempi di metodi di conservazione-recupero tratti dalla sua esperienza diretta, tra cui Via Garibaldi. In particolare, negli ultimi dieci anni, ha messo a punto una metodologia di rilievo delle finiture dei prospetti storici a tutte le scale del costruito, ai fini di conservazione e restauro; ricerche documentate in saggi teorici e di carattere metodologico di livello nazionale ed internazionale.

Gli architetti Anna Mantero e Francesca Salvarani (*Il recupero della Ripa Maris a Genova: colori e materiali*) in riferimento al rifacimento in oggetto, hanno descritto la metodologia non solo di ricerca ma anche operativa per l'antica serie di edifici di fronte al mare, il cui colore, nella tradizione storica, assunse la valenza concreta di elemento di emergenza e di riconoscimento di fronte al mare. Un lavoro particolarmente complesso ed esteso ma coordinato da un comitato scientifico che ha rielaborato gli studi precedenti della Facoltà di Architettura, dell'Osservatorio Civis del Comune di Genova, e di CONSEDIL (che ha ideato l'iniziativa). Tra i collaboratori alla realizzazione, oltre a CONSEDIL, il Ministero dei Beni Culturali (Sovrintendenza ai Beni Architettonici e Ambientali della Regione Liguria), il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Comune di Genova e associazioni di categoria.

Tiziano Mannoni (*L'importanza dei colori in una psicologia naturalistica*) ha analizzato ampiamente i vari aspetti delle problematiche del restauro, dalla cultura storica alla comprensione della forma, dalla percezione ai risvolti estetici e, per i materiali, dai silicati ai colori naturali. L'autore sottolinea: *"Spesso nelle varie interpretazioni che vengono date dalle carte del restauro si finisce per non tener conto che tale armonia va sempre salvaguardata nell'interesse del paesaggio antropizzato: attenzioni necessarie nei rapporti colore-forma-espressione per l'impiego di un'analisi estetica elaborata sotto l'ispirazione di una psicologia naturalistica..."*

Oltre al contesto genovese, la presenza di Giovanni Brino (Dal *"Piano del colore"* di Torino alla *"Banca dati dei restauri delle facciate"* di Marsiglia (1978-2003)), che per primo in Italia ideò i piani di colore per la città con quello di Torino e relative banche dati, ha presentato il suo lungo ed esteso lavoro anche con esperienze di formazione professionale in varie città italiane ed in altri Paesi (Francia, Svizzera e Australia). Con le banche dati dei restauri si sono potute conoscere e confrontare tecniche, materiali e colori su scala regionale, rendendo possibili ipotesi di restauro basate su preziosi documenti di archivio. I piani di colore, strumento urbanistico sempre più esteso e diffuso in molte regioni italiane è ormai considerata prassi ricorrente.

2 – Il colore e il paesaggio urbano contemporaneo tra progetto e sperimentazione

Per gli aspetti contemporanei si è ampliata la problematica sul colore in riferimento al paesaggio urbano anche in termini di riqualificazione. Enrico Bona (*Il colore nella città dalla tradizione alle tecnologie avanzate*) con la proposta di reinterpretare cromaticamente la Sopraelevata di Genova, si è soffermato sul colore

urbano dell'area portuale: non più intonaco dipinto ma colori su lamiera, navi, containers con una lettura sulla città industriale compenetrata al tessuto storico. Quindi il colore urbano di Genova vive anche nella realtà portuale, mischiando l'impatto visivo tecnologico a quello storico e di memoria della tradizione della città. La sopraelevata, nel suo nuovo ruolo di segno cromatico, potrà essere, quindi, un elemento visivo di collegamento anche in eventuali nuove ipotesi di riservarne alcuni tratti ad una percorrenza esclusivamente pedonale.

Giulio Bertagna (*La qualificazione percettiva delle periferie*) ha presentato le sue ricerche finalizzate a riqualificare attraverso il colore gli edifici senza particolare identità degli agglomerati urbani, gli insediamenti industriali, commerciali e le infrastrutture tecnologiche. Indicazioni quindi rivolte a quella tipologia di edifici che non rientrano nell'area del centro storico "senza rilevanza architettonica o di pregio artistico" con il fine sociale di consentire una migliore vivibilità urbana. Ha presentato, quindi, l'attività dell'Osservatorio Colore Liguria.

Massimo Caiazzo (*Introduzione ad una nuova percezione del colore*) ha esposto le sue ricerche sulla contaminazione delle varie percezioni sensoriali e il colore, come filo conduttore del suo lavoro e i nuovi approcci al colore con le moderne tecnologie. Ha analizzato le potenzialità cromatiche dei nuovi materiali che influenzano notevolmente il gusto artistico del nostro tempo. Il suo eclettismo professionale e artistico si basa infatti sui propri studi riferiti ad una "nuova percezione del suono e del colore" che applica anche nell'attività di color designer. Ha descritto, inoltre, la sua esperienza creativa presso l'Atelier Mendini.

Silvia Rizzo ha presentato un intervento spazio/ambientale riferito all'infanzia e alla gioia del colore. Vi ha quindi collegato altre esperienze, accentuando il ruolo della ricerca artistica nelle soluzioni di color design. Interventi ed installazioni di marcato segno estetico/artistico hanno infatti integrato le personali ricerche in cui si evidenzia il ruolo della creatività espressiva come elemento qualificante anche nella progettazione, per un risultato emotivamente più sensibile nella comunicazione in rapporto all'ambiente.

3 – Colore e ambiente in ricerche di altre nazioni

Tra passato e presente si è collocato l'intervento di Susan Habib nei due esempi presentati (*Un Tocco Magico: lo stabilimento del gas a Maltepe – Pittura o colore? L'esempio della città di Bursa*). Il primo è un progetto di intervento di rivitalizzazione attraverso il colore per la "gas factory" di Maltepe, esempio di costruzione industriale degli anni trenta in disuso e collocata al centro della zona culturale di Ankara. Il progetto di colore potrà essere utile per proteggere la fabbrica e per conferirle un nuovo ruolo aperto ad attività socio-culturali. Il secondo esempio ha trattato sulla cultura cromatica della città di Bursa (già capitale della Bitinia e poi degli Ottomani dal 1326), importante centro di produzione. I colori della natura sono dominanti nell'ambiente e sono ripresi negli esempi di architettura pubblica e popolare, dalle piastrelle ai prodotti tessili, alle varie decorazioni. La vita di questa città integrata anche da influenze di altre culture, ha

creato un fenomeno cromatico storico che trasmette ancora oggi il senso urbano del luogo, fra tradizione e vita reale.

Karin Fridell Anter, a proposito del suo intervento, "*Di che colore è la casa rossa?*", ha esaminato analiticamente la tradizione del colore nelle abitazioni in Svezia. Esse sono, all'esterno, in maggioranza di colore rosso, a cui si sono aggiunte, via via nel tempo, le facciate dipinte in giallo, bianco e verde, fino ai tempi più recenti, quando la gamma si è molto estesa e variegata con la produzione dei colori industriali. Su queste premesse si sviluppa la problematica nel campo del color design: la differenza tra il *colore percepito* degli esterni delle case, diverso e mutevole, perché legato agli agenti atmosferici, all'ora e al luogo in cui è collocato l'edificio, e il *colore intrinseco* scelto, cioè la qualità costante riferita ai campioni cromatici e al relativo uso professionale. Karin Fridell Anter ha condotto un'indagine relativa a tale problematica studiando un centinaio di case con relative osservazioni, utilizzando il Natural Color System (NCS), considerando anche le percezioni del colore nell'essere umano. I risultati hanno trovato impiego pratico ed immediato nel color design degli esterni oltre a sollevare ulteriori domande inerenti la percezione del colore.

Fanny Tosca (*Considerazioni antiutopiche verso un'arte del profano*) ha presentato un coinvolgente progetto sul tema del color design rivolto alla periferia della città di Salonico, di cui ha analizzato anche la storia. Il progetto si realizza attraverso proiezioni luminose dall'attenta e inconsueta ricerca formale di luci e colori, coinvolgendo anche suoni musicali. La città è un organismo vivente e quindi tale possibilità di intervento è a favore della collettività: color design 'antiutopico' senza discriminazione di strumenti e materiali, ma basato sull'esistente, trasformandone i limiti in opportunità creativa e in un intervento dematerializzante. Luci e colori proiettati, capaci di effondere energia, assumono quindi un ruolo determinante per una rivitalizzazione complessiva e rivolta alla socialità.

Tom Porter, il grande studioso a cui si devono i primi studi sulla policromia urbana (risale infatti ad oltre 25 anni fa il suo libro intitolato "*Il colore per l'architettura*" scritto insieme a Byron Mikellides), nella sua relazione (*Prodigi ed errori: ritorno al futuro*) si è soffermato sul ruolo del colore nella contemporaneità, dall'industria all'architettura. Prendendo spunto da episodi di errori grossolani nell'utilizzo dei colori, ha presentato un excursus sui propri lavori di ricerca, relativi alle preferenze cromatiche, alla criticità delle mode nel campo del colore al suo significato nel design di prodotti e in architettura. Cioè l'azione del colore che agisce sulla nostra vita quotidiana in più ambiti. In particolare ha studiato codici cromatici di colore per uso industriale e architettonico, come l' "Oslo Palette", progetto premiato e commissionato dalla Oslo School of Architecture per gli edifici della città. Anche se può essere notato costantemente, specie in Inghilterra, un certo conformismo nell'applicazione del colore, lo studioso ha evidenziato un cambiamento paradigmatico nel suo utilizzo in architettura. Recentemente, infatti, le nuove tecnologie permettono colori dinamici e programmabili, per esempio pellicole radianti e termocromatiche, applicabili nell'architettura, con il variare delle ore, delle luci, dei punti di vista, ecc. Si capovolge così il concetto tradizionale del

colore in architettura che diventa elemento contestuale del linguaggio, del tempo e del luogo, “spazio non relazionato ma attraversato” ed in una continua e dinamica variazione.

Conclusione

Si può concludere che nel complesso delle ricerche sono evidenziati gli aspetti etici per una migliore qualità della vita, del nostro ambiente urbano, delle nostre tradizioni.

Dal recupero della memoria storica degli spazi più antichi, alla rivitalizzazione di punti più conflittuali delle periferie, senza tralasciare le novità e le indagini di studio, dalle tecniche più specifiche.

Anche nel nostro caso, quindi, il colore riscatta un ruolo culturale importante che supera la consuetudine errata di una funzione solo decorativa-aggiuntiva.

Diventa, perciò, sempre più importante la trattazione interdisciplinare e l'approfondimento non solo scientifico, tesi ad ampliare la nostra percezione verso spazi più vasti e sperimentali, emozionali e suggestivi di rilettura e di rieducazione al colore.

Bibliografia

Bozzo G., Ciliberto P. e Cannoni T., *Genova. Percorso in una città rinnovata*, Genova 2004.

Marconi P., *Arte e cultura della manutenzione dei monumenti*, Bari, 1984.

Brino G., *Colore e città*, idea Books, Milano, 1987.

Brino G., *Colori di Liguria*, Ed. Sagep, Genova, 1991.

T. Porter, *The Architect's Eye*, E & FN Spon, London, 1997.

S. Rizzo, “*Color and urban Enviroment – Between History and Contemporaneity*”, Color Research and Application, Agosto 2004.

K. Fridell Anter, *What color is the red house? Perceived colour of painted facades*. Royal Institute of Technology, Stockholm, 2000.

Indagini storiche e colorimetriche sul pigmento “giallo di Napoli”

ANNA COCCHIARARO
anna.cocchiararo@fastwebnet.it

SERGIO OMARINI
C.N.R.– INOA*/U.S.O.B-Napoli
Largo Enrico Fermi, 6 – 50125 Firenze, Tel. 3387509638

1. Introduzione

E' recentemente stato pubblicato un importante testo sui pigmenti e più esattamente sui pigmenti per il colore giallo [1]. Ci pare interessante fornire piccole integrazioni su un pigmento particolarmente studiato e le cui origini sono tuttora discusse, come peraltro si evince dalla ampia disamina nel testo sopra citato. Si tratta del giallo di Napoli. Il “giallo” del giallo di Napoli consiste fondamentalmente in due aspetti: l'origine del suo nome, argomento ampiamente trattato anche in altri testi, e la sua quasi mitica ricetta scritta in caratteri cuneiformi in lingua neobabilonese. Trascurando l'argomento dell'origine del “di Napoli”, nome comparso nel 1700, ci è parso opportuno seguire due strade di indagine diametralmente opposte dal punto di vista temporale, l'una partendo dall'attuale l'altra dal più remoto possibile. La prima riguarda il colore la seconda il pigmento e, naturalmente, le due sono strettamente interconnesse.

Come è noto, attualmente il colore è divenuto succedaneo del termine definente il pigmento e viceversa, così che viene commercializzato il blu oltremare od il rosso porpora laddove ciò che si acquista poco o nulla contiene di lapislazzuli o di murex; ma le case produttrici identificano un prodotto, forse anche a ragione, in base al colore che esso permette di ottenere. Ci si è posto quindi il problema di comprendere quale sia questo colore e se le principali case produttrici intendessero lo stesso colore. Conseguentemente abbiamo misurato il prodotto commerciale scegliendo quello pronto all'uso, già confezionato in tubetto dalla casa produttrice, proprio per verificare ciò che attualmente si vuole intendere colorimetricamente per giallo di Napoli. Naturalmente sarebbe veramente interessante percorrere questa strada a ritroso nel tempo, ma sarebbe cosa assai complessa, viste le interconnessioni con altri pigmenti ed altre ricette come diffusamente spiegato nel già citato testo.

La seconda strada parte invece dall'analisi della materia, o meglio del pigmento o, meglio ancora, dalla ricetta per la preparazione del pigmento.

*associato

Molti testi la indicano come tra le più antiche ricette [2; 3] ed abbiamo voluto analizzare la ricetta originale che, a non solo nostro avviso, pone parecchi problemi interpretativi sul termine identificante l'antimonio che è l'elemento chimico caratterizzante il pigmento in questione. È pur vero che il pigmento può essere visto come sovrapposizione di altri in forma intermedia, ma comunque l'antimonio è pur sempre l'elemento caratterizzante senza il quale non si può parlare di giallo di Napoli. In uno studio precedentemente condotto [4] si è cercato di analizzare i dati archeometrici attinenti i manufatti antichi (vetri Mesopotamici ed Egiziani) per valutarne la consistenza e coerenza ed anche qui sarebbe interessante percorrere la strada da Babilonia a Turner passando attraverso Raffaello ed i manufatti Islamici. L'obiettivo di questo lavoro è, come già accennato, solo quello di fornire due precisazioni sul punto d'arrivo, vale a dire quale colore si intenda attualmente col termine giallo di Napoli, e sul punto di partenza, ossia la ricetta per la fabbricare un pigmento per ottenere un colore giallo, ricetta forse un po' troppo mitizzata.

2. Misure colorimetriche

In Tabella 1 sono riportati i risultati ottenuti dalle analisi colorimetriche condotte su alcuni campioni di giallo di Napoli presenti in commercio.

Tab.1- dati sperimentali ottenuti dalle misurazioni colorimetriche effettuate.

Campioni	D Standard	L*a*b*	Λ dom. (nm)	MUNSELL
Maimeri chiaro	0.14	83.04 9.09 49.48	575.09	H = 2.4 Y V = 8.3 C = 7.5
Maimeri scuro	0.47	77.74 14.51 42.64	571.4	H = 9.8 YR V = 7.8 C = 7.1
Maimeri rossastro	0.19	79.83 24.46 16.26	596.0	H = 7.9 R V = 7.9 C = 6.0
Rembrandt chiaro	0.38	89.91 0.47 32.59	571.6	H = 4.6 Y V = 9.0 C = 4.4
Rembrandt scuro	0.04	30.88 10.70 44.15	575.9	H = 0.9 Y V = 8.1 C = 6.9
Mussini chiaro	0.42	79.10 6.76 43.94	574.45	H = 2.6 Y V = 7.9 C = 6.5
Mussini scuro	0.09	69.61 18.13 49.21	580.0	H = 8.8 YR V = 7.0 C = 8.4

I pigmenti scelti per le analisi sono il giallo di Napoli commercializzato da tre fra le più importanti case produttrici di colori per pittura ad olio (Maimeri; Mussini; Rembrandt), confezionati in tubetti.

I campioni sono stati stesi su legno, in quadrati di 3 cm, senza essere diluiti, in modo da ottenere uno strato compatto e perfettamente coprente.

Le misure sono state effettuate mediando tre valori successivi ottenuti rimuovendo lo spettrofotometro dal campione e ciascun valore rilevato è mediato su tre colpi di misura automaticamente impostati nello spettrofotometro. A tale scopo è stato impiegato uno spettrofotometro Minolta CM 525i con spot di misura 2,5 cm di diametro, geometria a sfera.

Le misure sono state fatte a componente speculare inclusa, illuminante D 65 a 10°.

3. Il mistero delle origini del pigmento

Uno degli affascinanti misteri che avvolgono la storia del giallo di Napoli, riguarda le sue origini, sebbene nella letteratura archeologica appaia come dato ormai acquisito che questo giallo fosse impiegato già a partire dal II millennio a.C. nel Vicino Oriente [2; 3]. L'origine di tale opinione va ricercata nel complesso lavoro di traduzione e interpretazione, condotto da Adolf Leo Oppenheim [5], di difficili testi in cuneiforme, contenenti ricette assire per la fabbricazione di vetri colorati (le famose tavolette di Ninive - VII sec.a.C.), dove, sulla base dell'interpretazione dello studioso, appare frequente l'uso del termine "antimonio".

Nell'esaminare la questione come primo passo si è deciso di rintracciare, attraverso una piccola indagine etimologica, l'origine del simbolo chimico *Sb*; i principali passaggi sono schematizzati in Figura 1.

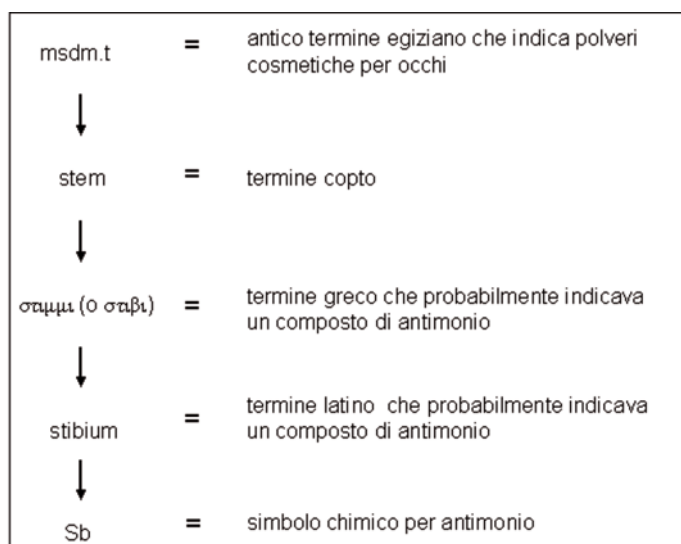


Fig. 1 - percorso etimologico che spiega l'origine del simbolo chimico *Sb*

L'ultimo termine della sequenza, stibium, si ritrova in Plinio il Vecchio, in particolare nel libro XXXIII della sua opera *Naturalis Historia* [6], riferito ad una sostanza che si trova nelle miniere d'argento, impiegata come medicamento e cosmetico per gli occhi.

Da un'attenta analisi di questo percorso è emerso però che il termine copto per "antimonio" non è *stem* ma *basur* [7] che sembra aver attinenza con il greco σῶρυ e con il termine latino *sory*, che si ritrova in Plinio (*Naturalis Historia*, libro XXXIV) per indicare un medicamento per occhi [6]. In questo libro *sory* è descritta come una sostanza connessa ad un minerale di rame e dotata di un odore particolarmente nauseabondo; su questa base il commentatore propone che il *sory* potrebbe corrispondere alla marcassite (FeS₂). È suggestivo notare che il *sory* egiziano è di gran lunga il più famoso e il migliore.

Quanto poi al termine egiziano *msdm.t* è probabile che indicasse "galena" e non "antimonio" [7]. È verosimile dunque, che sia avvenuto un passaggio semantico che ha portato ad impiegare i due termini per riferirsi ad una stessa cosa, infatti *stem* è un termine che si riferisce ad un cosmetico per occhi e l'antimonio era spesso un ingrediente impiegato negli unguenti per la cura degli occhi, come ancora oggi avviene.

Dal momento che il giallo di Napoli deve la sua fama, di essere un pigmento già noto nel II millennio a.C., alle succitate tavolette di Ninive, si è ritenuto opportuno cercare i termini interpretati come antimonio, o ad esso legati, presenti nei testi del Vicino Oriente Antico:

1. le tavolette di Ninive [5];
2. le serie lessicali HAR.ra = hubullu - Tavoletta XI righe da 292 a 297 (vedere Tabella 2) e Uruanna, che sono antichi vocabolari assiro-babilonesi [5; 8].

Si sottolinea che tale lavoro è stato eseguito tenendo sempre presente il percorso interpretativo condotto da Adolf Leo Oppenheim [5].

Tab. 2 - estratto della serie HAR.ra = hubullu , Tavoletta XI

<i>n. riga</i>	<i>Sumerico</i>	<i>Accadico</i>	<i>Traduzione</i>
292	[an].zah	<i>an-za-ah-hu</i>	vetro primario
293	[an].zah. babbar	<i>hu-[luh]-hu</i>	vetro primario bianco
294	[an].zah. mi	<i>kut-pu-[ú]</i>	vetro primario nero
295	[an].zah. lù	<i>hu-hu-[u]</i>	vetro primario misto
296	[KÙ].KÁM	<i>lu-[lu-u]</i>	Antimonio
297	[KÙ].KÁM. mi	<i>lu-u[l-mu-u]</i>	Antimonio

Nelle tavolette di Ninive sono stati riconosciuti e studiati termini relativi al vetro e ipoteticamente collegabili all'antimonio.

I termini in questione sono: *anzahhu* = vetro primario e *lulû* = antimonio.

L'impiego del primo termine in questi testi sembra confermare il significato proposto da Oppenheim come "vetro primario". Tale proposta sembra rafforzata anche dal fatto che gli hittiti utilizzino *ANZAHHUM* come ideogramma per vetro. Inoltre in origine questa parola doveva indicare un vetro naturale (ossidiana) e in seguito il suo significato deve essersi allargato, con una serie di passaggi semantici, a vetro/smalto. Tuttavia lo studioso aggiunge che questo vetro primario doveva contenere antimonio; egli basa la sua affermazione su questo processo logico:

- nella serie HAR.ra = hubullu , Tavoletta XI (Tabella 2) vi è un gruppo di termini, detto "gruppo-*anzahhu*" (righe 292-295), che è seguito da termini la cui traduzione è "antimonio", come ad esempio [KÛ].KAM = *lulû*, di cui Oppenheim accetta la traduzione "antimonio", ma che in altri testi è interpretato come "ossido di zinco" [9];
- in particolare il termine [an].zah. mi = *kut-pu-[û]*, presente nella suddetta serie viene individuato nella sua forma accadica anche nella serie Uruanna, che consiste in un elenco di materiali medicinali di origine organica e minerale. Essa si presenta come un dizionario specializzato, dal momento che ad ogni termine corrisponde una spiegazione. In questa serie è presente il termine [*kut*]-*pa-a*, che è assimilabile appunto a *kut-pu-[û]* della serie *Hh-XI*. Esso è spiegato con il termine *gu-uh-lu*, per il quale è accettata la traduzione "antimonio", in seguito alla sua associazione al termine *kohl*. Quest'ultimo indica il ben noto cosmetico per occhi, che consisteva in una polvere finissima impiegata nell'antico Egitto dalle donne per tingersi le palpebre e che si è sempre ritenuto essere costituito di antimonio.

Riassumendo si può dire che da quest'indagine terminologica è emerso che:

[an].zah. mi = *kutpu* → *kutpu* = *guhlu* → *guhlu* = *kohl* = antimonio.

A questo punto resta solo da valutare l'equazione *kohl* = antimonio, per poter affermare con sicurezza che il termine *anzahhu*, che ricorre nelle ricette assire di Ninive, si riferisce all'antimonio.

In realtà tale equazione è stata smentita sia dal punto di vista archeologico che terminologico [4]; infatti dalle indagini archeometriche condotte su numerosi campioni archeologici di belletti, provenienti sia dall'Egitto che da siti del Vicino Oriente, è emerso che l'antimonio era presente solo in tracce, se non totalmente assente, come nella maggior parte dei casi [5; 10]. Inoltre dagli stessi risultati si evince che questi cosmetici erano costituiti essenzialmente da galena, ciò va a supportare l'ipotesi che il termine egiziano *msdm.t* (precedentemente incontrato nell'esame etimologico) da cui deriva *stibium* si riferisse alla galena piuttosto che all'antimonio [7].

Infine anche dal punto di vista terminologico, nel consultare la voce *kohl* nei dizionari arabi, questo termine è spiegato come belletto o medicamento per occhi **non necessariamente** a base di antimonio.

In virtù di queste osservazioni rimane dunque un forte dubbio sull'equazione:

kohl = antimonio.

Conclusioni

Il pigmento giallo di Napoli, che viene sempre commercializzato in giallo di Napoli scuro e giallo di Napoli chiaro dalle case produttrici prese in esame, è abbastanza omogeneo dal punto di vista dei valori cromatici, per quanto riguarda la versione chiara (λ dom da 571 a 575 nm), mentre è piuttosto vario nella forma scura con una λ dom. che va da 571 a 580 nm. ed anche i valori di b^* confermano questo stato di cose; ogni casa produttrice ha il “suo” Giallo di Napoli scuro. In questa disamina non consideriamo il giallo di Napoli rossastro della casa Maimeri che presenta un λ dom. di 596 che esce dalla gamma dei gialli anche in termini percettivi, ciò è confermato dal rilevamento Munsell con una Hue addirittura nel rosso di 7.9 R.

Per quanto riguarda i gialli scuri è interessante rilevare che il giallo di Napoli scuro commercializzato dalla Mussini ha valori cromatici allineati su quelli delle altre case produttrici, ma uno spettro di riflettanza di andamento molto diverso che suggerisce un impiego di componenti chimici differenti dalle altre due case prese in esame come chiaramente si può evincere dal grafico rappresentato in Figura 2.

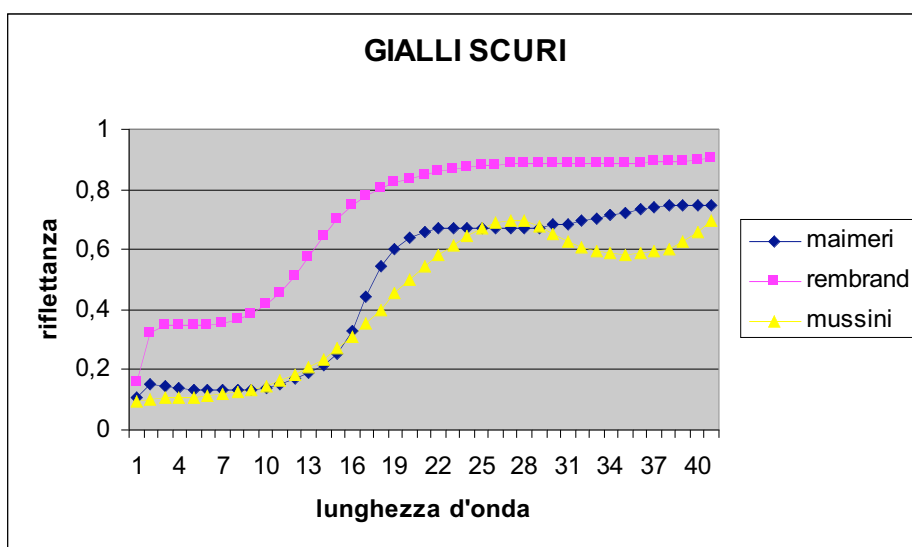


Fig. 2 – grafico di riflettanza dei tre pigmenti giallo di Napoli scuro presi in esame.

Tornando all'esame terminologico condotto sui testi antichi si evince che l'antimonio fu senz'altro un importante elemento nella fabbricazione dei vetri opachi. La sua presenza nei testi per vetri prova che i produttori della Mesopotamia di questo materiale impiegavano l'antimonio per trasformare un vetro semplice in un prodotto opaco che somigliasse ad una particolare pietra preziosa. Tuttavia dall'esame di questi testi sono emersi alcuni dubbi sulla possibilità che da essi si possa evincere che la presenza dell'antimonio fosse finalizzata alla pigmentazione

gialla dei vetri, a causa di una chiara insufficienza dei dati per poter stabilire l'equazione tra "antimonio" e uno qualsiasi dei termini ricorrenti nella documentazione; in ogni modo, se anche si potesse affermare con certezza che i termini messi in discussione indichino, senza ombra di dubbio "antimonio" questo non costituirebbe una prova sufficiente ad affermare che nelle ricette assire esso rappresenti un ingrediente per la fabbricazione di un vetro giallo, in quanto esso è presente in ricette per la fabbricazione di vetri di colori diversi, mai specificamente gialli.

Bibliografia

1. C. Seccaroni, *Giallorino - Storia dei Gialli di Natura Sintetica*, De Luca Editori d'Arte, 2006.
2. I.M. Wainright, "Lead Antimonate Yellow", in R.L. Feller *Artists' Pigments: a Handbook of their History and Characteristics*, vol.1, Washington, 1986.
3. A.A. v.v., *La Fabbrica dei Colori: Pigmenti e Coloranti nella Pittura e nella Tintoria*, il bagatto, Roma, 1995, pp. 210-212.
4. A. Cocchiararo, *Analisi dell'Uso dell'Antimonio come Possibile Colorante nell'Antichità*, Tesi di Laurea in Metodologie Fisiche per i Beni Culturali, U.S.O.B. Napoli, AA 2004-2005.
5. A.L. Oppenheim et al., *Glass and Glassmaking in Ancient Mesopotamia*, ed. Corning Museum Press, New York, 1970, pp. 4-6; 34-36; 53-54; 116-119.
6. Plinio il Vecchio, *Storia Naturale: vol. 5, Mineralogia e Storia dell'Arte:Libri 33-37* trad. Corso A., R. Mugellesi, G. Rosati, ed. Einaudi, Torino, ed. 1988, pp. 103-104; 278; 283.
7. J.R. Harris *Lexicographical Studies in Ancient Egypt Minerals* Akademie-Verlag, Berlino, 1961, pp. 174-176.
8. B. Landsberger "The series HAR.ra = hubullu Tablets VII-XII" in *MLS VII*, Roma, 1995, p.121.
9. R. Labat, "Ordonnance Médical ou Magique" in *Revue d'Assyriologie*, 54, 1960, pp.169-176.
10. A. Lucas; J.R. Harris, *Ancient Egyptian Materials and Industries*, ed. Arnold, Londra, 1962, pp. 80-82, 190, 195-197.

Insegnare la progettazione cromatica

RENATA POMPAS

ISTITUTO EUROPEO DI DESIGN, IEDMODALAB, MILANO

Indirizzo privato: Corso Ventidue Marzo 4, 20135 Milano, Tel/Fax 0255192384
renata.pompas@libero.it

LIA LUZZATTO

ACCADEMIA DI COMUNICAZIONE, MILANO

Indirizzo privato: Via Colautti 1, 20125 Milano, Tel. 026007702
lia.luzzatto@libero.it

1. Introduzione

L'oggetto della nostra presentazione è una riflessione sul contenuto e sulle modalità dell'insegnamento del progetto cromatico, oggi.

Due anni fa abbiamo ideato e realizzato il primo corso italiano pubblico, riconosciuto dal Fondo Sociale Europeo con titolo di studio legale di "Fashion Color Consultant". Avevamo previsto una figura in grado di inserirsi - per conoscenze tecniche, abilità e sensibilità - in modo trasversale nel mondo del lavoro e del progetto, a cui offrire una somma di saperi diversi, connessi in una visione interdisciplinare.

Il corso - post diploma, annuale, con stage finale - si è concluso con successo e i corsisti hanno trovato una loro collocazione professionale in prestigiose aziende del settore tessile-abbigliamento, del design e del progetto di architettura di interni.

Dall'esperienza del corso annuale sono nate alcune considerazioni che ci hanno indotto a riconsiderare la didattica del colore, che andrebbe sempre pensata come parte integrante del progetto, quando non addirittura essa stessa progetto.

Purtroppo, a causa della riduzione dei finanziamenti europei, non è stato possibile riproporlo. Abbiamo comunque continuato a insegnare Colore nei corsi post-diploma e negli Istituti Superiori di Moda e di Comunicazione, dove le lezioni di colore facevano parte di un programma incentrato su altre figure professionali, con un numero ridotto di ore.

Ciò nonostante abbiamo messo a punto un programma che inserisce lo studente nel "pensiero cromatico" e nelle sue problematiche, al di fuori dei *clichè* di regole estetiche o di connaturata artisticità progettuale.

2. Il corso: "Fashion Color Consultant"

Iniziamo illustrando brevemente anche al Gruppo Italiano di Colore il corso professionale di Color Consultant, che è stato presentato con successo, nel 2004, al

Congresso Mondiale del Colore AIC “Color and paints”, alla Pontificia Universidade Católica de Rio Grande do Sud, di Porto Alegre – Brasil e al “7° Congresso Argentino del Color”, presso la Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires - Argentina.

3. Cinque moduli didattici

Nel corso di “Fashion Color Consultant” abbiamo avuto a disposizione un buon numero di ore – 400 di lezione di colore, 280 di informatica e 320 di stage, che abbiamo suddiviso in 5 moduli didattici approfonditi e interdipendenti: Cromatologia di base, Comunicazione, Moda, Design ed Exhibit.

3.1 Cromatologia è un modulo teorico di base che riguarda tutti gli aspetti basilari della fisica, della fisiologia, della percezione. A integrazione delle lezioni base la dimostrazione dell’uso di diversi atlanti cromatici - Munsell, NCS, Pantone e i libri di una tinto-stamperia – hanno mostrato agli studenti i diversi strumenti di lavoro usati nel progetto di design-exhibit, di moda e di produzione tessile.

Queste conoscenze sono state integrate dalle visite al “Laboratorio di luce e colore” del Museo della Scienza e della Tecnica di Milano; a una tra le più importanti e sofisticate aziende tipografiche italiane “Fontegrafica”; dalla dimostrazione delle qualità tecniche dei pigmenti delle case più note commerciate da “Colart”.

Più specificamente orientato sulla moda è stato il laboratorio di tintura naturale, nel quale gli studenti hanno potuto sperimentare le tinture storiche con robbia, reseda, cocciniglia e guado; la una conferenza sullo stato del mercato delle tinture naturali a cura della francese ”Association Couleur Garance” e le lezioni sulla tinto-stamperia industriale: problemi ecologici e di consumo che oggi sono più che mai attuali.

3.2 Comunicazione è un modulo che ha affrontato le “economie simboliche” che determinano la scelta del consumatore. Il colore è stato analizzato nelle sue potenzialità espressive e comunicative nella pubblicità, dove svolge un ruolo informativo, memorizzante, affettivo e immaginativo. Il colore che permette di personalizzare la scelta nell’offerta globalizzata, suggerendo l’esclusività all’interno della serializzazione: La denominazione linguistica dei colori svolge anche un importante ruolo nelle campagne pubblicitarie e addensa a volte nel nome la product e la brand identità, come hanno dimostrato le lezioni di psicolinguistica applicata al colore.

Gli studenti hanno condotto una ricerca sui prodotti di bellezza “Comunicazione e colore”.

3.3 Moda ha analizzato i colori individuali della persona, con lezioni sulla struttura del make up e del “Color for all season” system e i colori collettivi e sociali dei trends, integrati da lezioni di storia del colore e visite alle aree tendenze delle Fiere.

La moda elabora con periodicità stagionale le proposte di colore, sotto forma di cartelle-tendenza, cartelle-colore, varianti-colore, oltre che di must ciclici che riflettono un'atmosfera sociale e culturale e definiscono le singole identità commerciali.

Anche la Moda è caratterizzata dalla crescente frammentazione della sua cultura e delle sue proposte, nelle quali l'aspetto simbolico ed emotivo gioca un ruolo primario. Il citazionismo necessita di una conoscenza storica, pur nel suo uso decontestualizzato, per questo una serie di esercitazioni ha riguardato la visualizzazione delle *palette* cromatiche storiche.

3.4 Design ha affrontato il problema della luce (ambientale e artificiale), delle superfici e dello spazio.

Oggi gli spazi e gli edifici cercano la smaterializzazione e la trasparenza, tuttavia, soprattutto negli interni, è indispensabile mantenere un buon rapporto con il colore che, mortificato per un lunghissimo periodo, è oggi rivalutato e presente.

Anche nelle case di cura, come negli uffici e nelle case private, i progettisti cromatici sono chiamati a elaborare soluzioni funzionali, estetiche e di benessere.

Il modulo si è concluso con un progetto che ha messo in relazione i colori delle diverse componenti degli spazi interni.

L'uso della luce colorata in arte, con visita alle opere di Flavin, Irwin e Turrel, è stata un'esperienza stimolante e coinvolgente.

3.5 Exhibit infine è stato un modulo che si è occupato del progetto della mostra "Formare al colore. Fashion Color Consultant: una nuova professione". A fine anno infatti i risultati del corso sono stati presentati dall'ADI alla città di Milano, in una serata-evento che ha conosciuto una vasta partecipazione di pubblico: mostra, rinfresco, proiezione-video e balletto cromatico hanno accolto designer, stilisti, giornalisti, architetti, artisti e studenti in un'affettuosa atmosfera di festa.



4. La didattica del colore nei corsi di "Fashion" e "Comunicazione"

Questa considerevole esperienza è stata per noi la base di riflessioni successive che sono servite per mettere a fuoco, programmare ed elaborare, una metodologia

didattica - per le lezioni dei corsi di Fashion e di Comunicazione - capace di far emergere e potenziare la creatività del progetto cromatico.

Nei corsi di laurea il colore è una tra le discipline presenti, a cui viene dedicato un pacchetto esiguo di ore. Il problema è allora decidere “cosa selezionare” e “cosa - necessariamente - trascurare”.

Pensiamo che siano necessarie alcune nozioni base, ma che poi l’attenzione al colore sia appresa attraverso un “*fare emotivo*”, scaturito dalla soggettività spontanea, affinato nel confronto collettivo e approfondito nello studio.

L’atto stesso del progettare richiede infatti capacità “tecniche” e “sensibili”. Come potenziare queste ultime?

4.1 Conoscere e conoscersi

Gli studenti realizzano spontaneamente, senza alcuna nozione di riferimento, un proprio ritratto cromatico, che nella discussione collettiva farà emergere di volta in volta la scelta di esprimere con maggior forza gli aspetti coloristici fisici o quelli interiori.

La lezione è animata da performance cromatiche che sciolgono l’atmosfera accademica di “attesa delle regole” e predispongono alla spontaneità istintiva.



4.2 Brain Storming

Un secondo momento è stato dedicato al potenziamento delle “capacità sensibili”, ossia di quell’insieme di fattori in grado di produrre idee nuove: qui il percorso è meno delineato e si concentra su una costante e articolata stimolazione al pensiero creativo e deduttivo, sullo sviluppo delle capacità associative e non ultimo, almeno così crediamo, sulla partecipazione emotiva.

L'attitudine cromatica e la capacità di progetto integrano il patrimonio individuale (cioè l'esperienza soggettiva del colore dal punto di vista ambientale ed emotivo) con il patrimonio collettivo e condiviso. Ambedue possono essere rafforzati facendo emergere l'universo incrociato delle percezioni sensibili, con opportuni esercizi pratici e linguistici, con riflessioni, sperimentazioni e discussioni.

La stimolazione al pensiero creativo e deduttivo avviene allenando lo studente ad affrontare le problematiche del progetto cromatico in modo flessibile, prendendo in considerazione diversi punti di vista, destrutturando e ristrutturando le conoscenze per superare gli stereotipi.

Tradurre l'emozione cromatica soggettiva in codice verbale è un modo per razionalizzarla, controllarla, prenderne coscienza. Per accedere alla ricchezza interiore delle emozioni che il colore evoca, e accrescere le facoltà immaginative individuali, abbiamo stimolato gli studenti a fare una sorta di *brain storming* con se stessi attorno al senso generale del colore, o a un colore chiave, in modo da esprimere attraverso il modulo linguistico il mondo indefinito delle suggestioni, dei sentimenti, delle associazioni e delle intuizioni. Quindi li abbiamo condotti, con un'osservazione guidata, a creare connessioni, chiarire le relazioni, costruire categorie, selezionare le informazioni utili, ecc...

Successivamente l'esperienza personale di ciascuno è stata messa a confronto con quella degli altri in un lavoro di gruppo, in modo da fare emergere un'altra serie di dati utili alla progettazione: come gli ambiti di comunicazione e di orientamento concettuale condivisi, l'approccio maschile o femminile, la capacità descrittiva del colore, ecc...

4.3 La comunicazione sinestetica

Le esercitazioni sulle analogie attraverso le associazioni colore-parola-oggetto-immagine, in totale libertà inventiva, sono molto utili quando è doveroso usare un codice cromatico aderente alle richieste di un'azienda, dove è indispensabile che il colore sia simbolo o metafora dell'azienda stessa o dei suoi prodotti e raggiunga una sintesi comunicativa efficace e pertinente, come accade ad esempio nel caso del marchio-logo. La stimolazione del pensiero trasversale sinestetico crea allusioni tattili, commestibili, olfattive e sonore, ed è necessaria alla buona riuscita del progetto: una sua sottovalutazione può rischiare di vanificare la comunicazione finale.



4.4 Simbolo e comunicazione

Nella comunicazione pubblicitaria e di informazione il colore, oltre ad assolvere il compito di creare valori e pattern compositivi, può essere usato con funzioni strutturali di attenzione o di coerenza, all'interno della pagina o dello spot o, in modo efficace, per rafforzare l'identità interna o visibile del prodotto. In questo caso gioca un ruolo attivo la componente simbolica del colore, che amplia i contenuti e in modo dissimulato può invitare alla persuasione.

La natura stessa del simbolo colore impone quindi una sua indagine attenta, attorno al centro archetipo di ciascuna tinta, infatti, si struttura una corona simbolica duale e culturale, con cui il progettista cromatico deve confrontarsi.

Gli studenti sono stati invitati a selezionare o interpretare immagini visive, significative per i diversi aspetti simbolici di ciascuna tinta.



4.5 I linguaggi contemporanei

Affrontare le problematiche di un progetto cromatico in modo flessibile, significa porsi di fronte alla realtà cromatica da diversi punti di vista, superare gli stereotipi e le ricette per favorire l'apertura mentale. Come qualsiasi lingua infatti anche il colore ha basi compositive e semantiche tradizionali, consuete e tramandate, che tuttavia – pur dovendo essere conosciute - non devono divenire fonte di rigidità o ripetizione. Proprio come ogni lingua, anche quella del colore è viva, e solo

interpretando il suo tempo o volgendo lo sguardo al futuro con intenzioni innovative, può realizzare atti immaginativi originali e condivisi.

Gli studenti sono stati invitati a visualizzare cromaticamente i linguaggi di diversi movimenti musicali e abbigliamentoari, corrispondenti a stili di vita, evidenziandone e sintetizzandone le peculiarità.

4.6 Conoscere, citare, interpretare

La fluidità e la profondità dei contenuti nella comunicazione cromatica non possono prescindere dalla cultura storico-artistica del colore; perché nessun buon progetto può nascere da una povertà culturale, soprattutto oggi in cui si fronteggiano i grandi temi della globalizzazione e della localizzazione. L'atto del progettare necessita infatti della conoscenza dell'eredità del suo patrimonio culturale, a cui la mente creativa e immaginativa sa guardare, se necessario, per attualizzarne le tematiche e indirizzarle con aderenza e adattamento al problema o alla richiesta.

Un confronto tra le espressioni cromatiche storiche e la loro riproposizione attuale, con diversi significati, stimola alla comprensione delle potenzialità comunicative delle diverse "qualità di gamme", in relazione al contesto che le esprime.

Tipico del postmodernismo è assommare diversi stili in un medesimo progetto, sfasandone il riconoscimento, destrutturandoli e poi ricomponendoli in un complesso unitario che trae senso dalla sua capacità di sintesi. Ciò che differenzia i linguaggi della post-modernità da un semplice kitsch è la consapevolezza dell'operazione linguistica, la solidità e la padronanza della conoscenza degli stili che si vanno a saccheggiare, la capacità di essere significanti.

Bibliografia

1. Lia Luzzatto - Renata Pompas, *Il colore persuasivo – comunicazione, grafica, pubblicità, new media*, Il Castello, Milano, 2001.
2. Lia Luzzatto – Renata Pompas, *Il significato dei colori, nelle civiltà antiche*, Tascabili Bompiani, 2001 (ristampa da Rusconi '88).
3. Lia Luzzatto – Renata Pompas; *I colori del vestire. Variazioni – Ritorni – Persistenze*; Hoepli, Milano, 1997.
4. Renata Pompas, *Textile Design. Ricerca – Elaborazione – Progetto*; Hoepli, Milano, 1994.
5. Lia Luzzatto – Renata Pompas; *Leggi la tua personalità giorno per giorno, colore per colore*; Il Castello, Milano, 1991.
6. Lia Luzzatto – Renata Pompas; *Conoscere e capire il colore*; Il Castello, Milano, 1988.
7. Lia Luzzatto – Renata Pompas; *Il linguaggio del colore*; Il Castello, Milano, 1980.

Laboratorio virtuale per analisi radiometriche e spettrali della percezione cromatica

FEDERICO GANDELLINI

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO - POLO DI CREMA

Viale Bramante, 65 – 26013 Crema /CR), Tel. 0373 898059, Fax: 0373 898010
fgandellini@crema.unimi.it

ANGELO MORETTI

CONSULENTE LUCE E COLORE

Via Tobagi, 12 – 20049 Concorezzo (Milano), Tel. e Fax 039 648797
angmore@inwind.it

1. Introduzione

Come spesso viene detto il colore in fisica non esiste, ma è una trasformazione in sensazione dell'energia elettromagnetica che colpisce la nostra retina. Si tratta quindi di una sensazione che noi stessi creiamo e dipende sia da aspetti del mondo fisico esterno a noi sia dalla interpretazione che noi ne diamo. Sono noti alcuni casi in cui ad un'identica situazione energetica corrispondono sensazioni differenti: si pensi ad esempio al contrasto simultaneo dei colori dove superfici di identico comportamento energetico possono apparirci di colori differenti come indicato in Fig.1. Questo semplice caso serve a comprendere come la sensazione di colore dipenda anche dal contesto spaziale e dalla forma geometrica dell'ambiente.

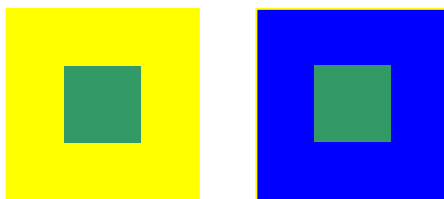


Fig. 1 – Il ben noto caso del contrasto simultaneo dei colori. Questo semplice esempio è utile per comprendere come ad uguali situazioni energetiche possono corrispondere percezioni cromatiche differenti. Le superfici più piccole hanno lo stesso comportamento fisico ma ci appaiono di due colori differenti.

Per queste ragioni possiamo dire che la nostra percezione del colore dipende da due principali aspetti: un aspetto esterno dato dal comportamento elettromagnetico e

dalla forma dell'ambiente e da un aspetto interno a noi dovuto alla nostra reazione percettiva con l'energia elettromagnetica raccolta dai nostri organi ricettori.

Gli aspetti esterni dipendono a loro volta dalle caratteristiche spettrali di emissione delle sorgenti che illuminano una scena, dalle proprietà di riflettanza delle varie superfici e dalla loro geometria mentre gli aspetti fisiologici dipendono dalla sensibilità spettrale dei coni nella retina. Alcuni studi di neuroscienze [1] hanno dimostrato che il numero dei vari tipi di coni nella retina pu variare da individuo ad individuo ed in particolare la differenza dei coni di tipo L e M pu arrivare fino al 40% con conseguente variazione delle curve di sensibilità spettrale; ciononostante i test di riconoscimento del colore di Ishihara e Dvorine o il test delle 100 tinte di Farnsworth-Munsell hanno dato esito positivo per ciascun individuo. Questo significa che la sensazione e percezione del colore non dipende solo da aspetti fisici del mondo esterno a noi e da una semplice traduzione dell'energia radiante in stimoli ma anche da una nostra capacità di adattamento all'ambiente visivo dovuta al nostro cervello.

Si pu quindi affermare che tra gli aspetti interni dobbiamo aggiungere un altro fattore che entra in gioco nella percezione del colore che rappresentato dalla capacità di accomodamento visivo del nostro cervello e della nostra mente.

Per via teorica diversi modelli di percezione cromatica e del comportamento elettromagnetico del mondo fisico possono essere applicati per prevedere la nostra sensazione di colore; si ha quindi la necessità di un Laboratorio Virtuale sia per verificare la validità di modelli percettivi sia per esaminare il colore da noi percepito al variare delle diverse componenti che entrano in gioco per la sua formazione.

2. Il flusso dell'informazione-sensazione colore

La precedente generale descrizione formalizzata nel seguente modo.

Con $S_e(\lambda)$ indicata la distribuzione di emissione spettrale di una certa sorgente radiativa e π in particolare luminosa. Con $\tau(\lambda)$ si indica la trasmittanza spettrale, espressa in percentuale di energia trasmessa per ogni lunghezza d'onda, di un eventuale filtro che pu essere usato per la sorgente radiativa. Con $\rho(\lambda)$ indicata la riflettanza spettrale delle superfici di una scena che, come nel caso della trasmittanza, espressa in percentuale di energia riflessa per ogni lunghezza d'onda. L'energia spettrale emessa dalla sorgente, eventualmente filtrata e quindi riflessa dalle superfici di una certa scena dà luogo ad una distribuzione spettrale di radianza $L_e(\lambda)$ data da:

$$L_e(\lambda) = \rho(\lambda) \tau(\lambda) S_e(\lambda)$$

Con questa semplice relazione possiamo dire di aver descritto, sia pure in modo estremamente semplice, il comportamento radiativo dell'ambiente e di aver trattato quelle grandezze che quantificano i fattori fisici della formazione del colore. La radianza spettrale $L_e(\lambda)$ la grandezza fisica responsabile del fenomeno della

visione e una volta raccolta dai nostri occhi viene suddivisa in tre componenti dai tre tipi di coni della retina.

A questi aspetti esterni che rappresentano i fattori fisici va aggiunta la forma geometrica dell'ambiente che determina il contesto da cui ci giungono le radiazioni elettromagnetiche; la variazione del contesto pu provocare differenti percezioni cromatiche, anche se il comportamento energetico rimane invariato come illustrato nell'esempio di Fig.1.

Le sensitività spettrali dei tre tipi di coni sono indicate con $l(\lambda)$, $m(\lambda)$, $s(\lambda)$ e dipendono dal numero del tipo di coni; queste tre curve descrivono in modo quantitativo i fattori fisiologici della visione cromatica; le sensitività spettrali generano tre stimoli L , M , S che vengono inviati al cervello e che sono dati da:

$$\begin{cases} L = \int L_e(\lambda)l(\lambda)d\lambda \\ M = \int L_e(\lambda)m(\lambda)d\lambda \\ S = \int L_e(\lambda)s(\lambda)d\lambda \end{cases}$$

L'informazione che arriva al cervello a sua volta rielaborata per creare la sensazione finale di colore. E questa la quarta componente, dopo la forma, la fisica e la fisiologia, che fa parte del flusso dell'informazione colore.

Un modello del comportamento del cervello spesso data dai noti valori di tristimolo

$$\begin{cases} X = \int L_e(\lambda)\bar{x}(\lambda)d\lambda \\ Y = \int L_e(\lambda)\bar{y}(\lambda)d\lambda \\ Z = \int L_e(\lambda)\bar{z}(\lambda)d\lambda \end{cases}$$

dove $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ sono l'osservatore standard C.I.E.1931 o pi in generale le Color Matching Functions che inglobano sia i fattori fisiologici delle sensitività dei coni sia i fattori psicologici legati al comportamento del cervello [2].

Questo modello s per rivelato inadatto per descrivere in modo completo il nostro comportamento psicofisiologico della percezione cromatica e per questo motivo sono stati sviluppati e proposti vari modelli per la descrizione e simulazione del nostro comportamento percettivo cerebrale e mentale.

Possiamo quindi individuare gli aspetti della percezione cromatica in un aspetto fisico e geometrico dato dalla distribuzione spettrale di radianza $L_e(\lambda)$ e dalla forma, un aspetto psicologico e fisiologico dato dalla sensitività spettrale data dalla terna di curve $l(\lambda)$, $m(\lambda)$, $s(\lambda)$ e dalla rielaborazione del nostro cervello

dell'informazione inviata dai coni della retina; quest'ultimo aspetto è stato descritto da vari modelli percettivi.

Il flusso dell'informazione-sensazione colore è schematizzato in Fig.2.

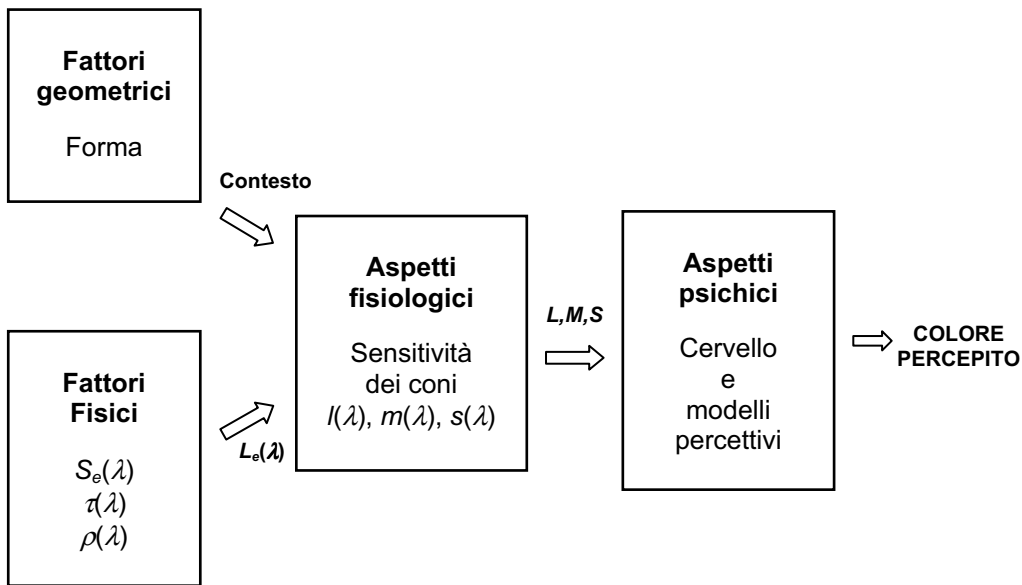


Fig. 2 – Schematizzazione del flusso dell'informazione-sensazione colore: dai fattori fisici agli aspetti psicofisiologici.

3. Perché il Laboratorio Virtuale

Da quanto descritto possiamo indicare quali siano le varie grandezze che entrano in gioco per la visione del colore.

Per i fattori fisici si ha l'emissione spettrale di una sorgente radiativa indicata con $S_e(\lambda)$, la trasmittanza spettrale di un eventuale filtro per le sorgenti radiative $\tau(\lambda)$, la riflettanza spettrale di superfici dell'ambiente $\rho(\lambda)$.

Per i fattori geometrici si ha la descrizione della forma dell'ambiente che stiamo osservando ed esaminando.

Per i fattori fisiologici le sensibilità spettrali dei coni della retina indicate con la terna di curve $l(\lambda)$, $m(\lambda)$, $s(\lambda)$.

Per i fattori psichici il comportamento del nostro cervello descritto dai vari modelli recentemente proposti o dalle Color Matching Functions che includono nelle loro caratteristiche anche le sensibilità dei coni.

Le varie grandezze responsabili della formazione del colore sono riassunte nei loro aspetti di appartenenza in Tab.1.

PERCEZIONE del COLORE			
ASPETTI ESTERNI		ASPETTI INTERNI	
Fattori fisici	Fattori geometrici	Fattori fisiologici	Fattori Psicici
$S_e(\lambda)$ Emissione spettrale	Forma dell'ambiente	$l(\lambda)$ Sensitività dei coni di tipo L	CMF includenti le sensitività retiniche $l(\lambda)$, $m(\lambda)$, $s(\lambda)$
$\tau(\lambda)$ Trasmittanza spettrale		$m(\lambda)$ Sensitività dei coni di tipo M	
$\rho(\lambda)$ Riflettanza spettrale		$s(\lambda)$ Sensitività dei coni di tipo S	Modelli del cervello e della mente

Tab. 1 – Simboli e grandezze responsabili del fenomeno della percezione cromatica.

Possiamo quindi dire che la percezione del colore dipende da otto variabili: l'emissione spettrale, la trasmittanza spettrale, la riflettanza spettrale, la forma geometrica dell'ambiente, le tre sensitività retiniche dei coni e il comportamento del nostro cervello descritto da vari modelli.

Diventa ora interessante poter prevedere come noi vediamo i colori al variare delle diverse componenti anche per verificare la validità di vari modelli e teorie che descrivono il comportamento visivo del nostro cervello e della nostra mente: ecco perch nasce la necessità di creare un Laboratorio Virtuale dove sia possibile effettuare una serie di prove ed esperimenti utili a questi scopi.

4. Cosa possibile definire nel Laboratorio Virtuale

Nel Laboratorio Virtuale proposto possibile definire, modificare e scegliere tutte le componenti dei vari fattori che intervengono nella percezione cromatica.

Per primo si definisce una configurazione di tipo Mondrian (Fig.3) della quale l'utente ha la possibilità di determinare la forma di ogni singola patch ed assegnare ad ognuna una particolare riflettanza spettrale; questa configurazione rappresenta il fattore geometrico e la forma dell'ambiente da osservare ed utile per l'analisi del colore nel contesto.

Le riflettanze spettrali attribuibili alle patches possono essere scelte da un archivio esistente oppure definibili in un ambiente di editor illustrato in Fig.4.

Nell'ambiente di editor di riflettanze spettrali possibile scegliere la densità del campionamento per definirne le curve che sono editabili sia attribuendo un valore tabellare di percentuale di riflettanza per ogni lunghezza d'onda sia trascinando ogni singolo punto campionato sulla curva stessa; la nuova curva ottenuta approssimata per interpolazione lineare. In questo ambiente possibile avere anche una previsione del colore corrispondente alla riflettanza creata; il colore calcolato

ipotizzando un'illuminante D65, un osservatore standard CIE1931 ed una matrice standard per il monitor di rappresentazione [3].

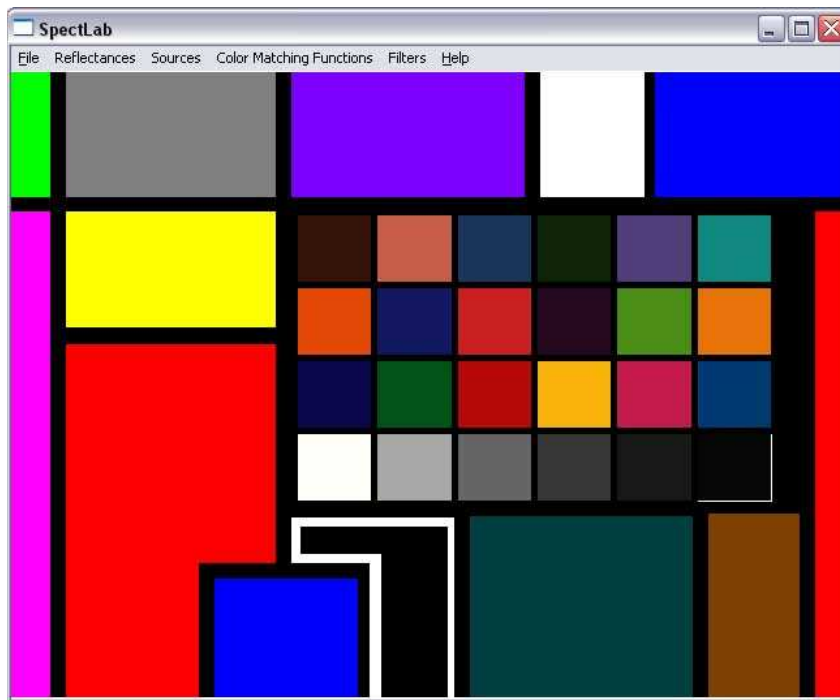


Fig. 3 – Esempio di configurazione di tipo Mondrian. Nel particolare caso rappresentato in figura è incluso il Macbeth Color Checker.

In modo analogo, sia da archivio sia editando curve esistenti o creandone nuove, possibile scegliere varie illuminanti o le trasmittanze di eventuali filtri: l'ambiente di editor del tutto simile al caso delle riflettanze.

poi possibile scegliere e variare gli aspetti più interni ad un osservatore come le curve di sensibilità spettrale dei coni o provare diverse forme di Color Matching Functions usando l'ambiente rappresentato in Fig.5.

A differenza delle riflettanze, delle trasmittanze e delle illuminanti in questo caso sono visualizzate tre curve contemporaneamente e l'utente ha la possibilità di scegliere ed editare una solo curva per volta usando tecniche simili ai precedenti casi; in tutti i casi le curve create possono essere inserite negli archivi esistenti.

Per ultimo possibile scegliere uno dei vari algoritmi percettivi che simulano il comportamento visivo del nostro cervello: i casi attualmente usabili sono gli algoritmi di tipo Retinex sia classico [4] sia nella versione Random Spray [5] o gli algoritmi di tipo Automatic Color Equalization ACE [6].

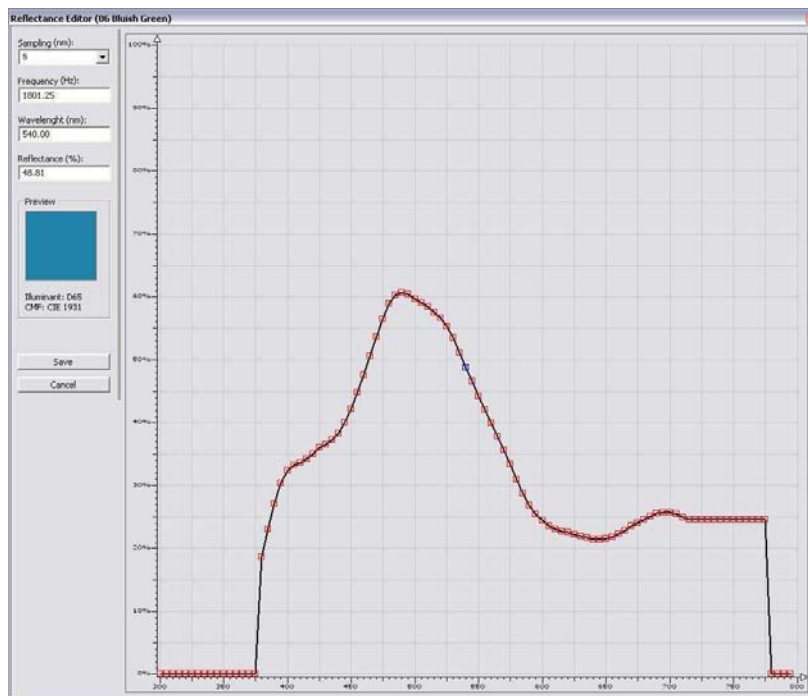


Fig. 4 – Ambiente di editor di riflettanze spettrali. Sono visibili le finestre per la scelta del campionamento delle lunghezze d'onda ed il controllo del colore risultante.

5. Analisi

Le analisi possibili con il Laboratorio Virtuale possono essere di due tipi: un'analisi sul nostro comportamento visivo al variare delle condizioni esterne di illuminanti, riflettanze e contesto ed un'analisi sulla validità dei vari modelli proposti per la simulazione del nostro comportamento visivo.

per necessario sottolineare un fattore molto importante: la visualizzazione sui monitor presenta il difetto di avere minore dinamica sia cromatica sia in termini di luminanza rispetto ad un'abituale situazione reale. In altre parole i normali monitor che solitamente usiamo non riescono a rappresentare tutti i colori e tutte le luminanze che siamo soliti osservare nella nostra realtà fisica ed inoltre non esiste, nell'attuale stato dell'arte tecnologico, la possibilità di avere un dispositivo di rappresentazione con dinamiche accettabili. L'analisi visiva ci pu dunque trarre in inganno e la possiamo considerare utile solo per avere un'idea di massima dei nostri risultati. auspicabile un'analisi non visiva ma di tipo numerica e ricorrere ad immagini con un'alta estensione dinamica (HDR) come descritto in [7].

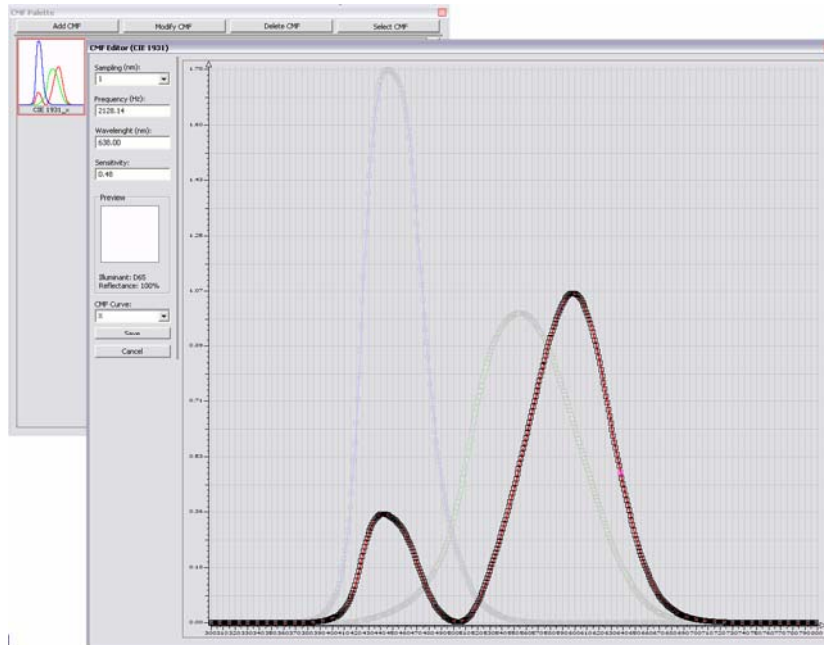


Fig. 5 – Ambiente di editor per le curve di sensitività spettrale o per le Color Matching Functions. Nel caso particolare in figura sono visualizzate le CMF CIE1931.

6. Conclusioni e sviluppi futuri

Il Laboratorio Virtuale ora presentato fornisce la possibilità di effettuare verifiche sia sulle previsioni delle nostre percezioni cromatiche sia sulla validità di modelli computazionali per la simulazione visiva; tutti i dati inseriti tengono conto del comportamento spettrale e radiativo delle varie grandezze coinvolte.

Attualmente l'ambiente analizzabile è limitato a configurazioni di tipo Mondrian ed in previsione la possibilità di inserire immagini bidimensionali complesse riprese con scanner multispettrali; inoltre è necessario prevedere anche l'analisi di scene tridimensionali.

inoltre auspicabile la possibilità di provare modelli percettivi diversi da quelli proposti in [4, 5, 6].

Le verifiche di modelli percettivi dovrebbero essere suggeriti dagli esperimenti cromatici proposti da Edwin Land, dalle opere di Dan Flavin simulate con sistemi di fotorealismo radiometrico o dai test di riconoscimento colore.

Bibliografia

1. H. Hofer, J. Carroll, J. Neitz, M. Neitz, D.R. Williams, " Organization of the Human Trichromatic Cone Mosaic", *The Journal of Neuroscience*, October 19, 2005, 25(42), pp.9669 –9679.

2. G. Wyszecki, W.S. Styles, "Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae", John Wiley & Sons, New York, 1982.
3. A. Glassner, "Principles of Digital Image Synthesis", Morgan Kaufmann, San Francisco, 1995.
4. E. Provenzi, A. Rizzi, L. De Carli, D. Marini, "Mathematical definition and analysis of the Retinex algorithm", Journal of Optical Society of America A, Vol. 22, N. 12 December, pp 2613-2621 (2005).
5. E. Provenzi, M. Fierro, A. Rizzi, L. De Carli, D. Gadia, D. Marini, "Random Spray Retinex: a new Retinex implementation to investigate the local properties of the model" in pubblicazione su IEEE Transactions on Image Processing.
6. A. Rizzi, C. Gatta, D. Marini, "From Retinex to ACE: Issues in Digital Images Unsupervised Color Equalization", Journal of Electronic Imaging, January 2004, Vol. 13(1), SPIE and IS&T, pp 75-84.
7. A. Rizzi, D. Gadia, D. Marini, "Analysis of tri-stimulus interdifference and contextual color correction" in pubblicazione su Journal of Electronic Imaging

Quando il colore che non si vede influenza la percezione

ROSSANA ACTIS GROSSO

DIPARTIMENTO DI PSICOLOGIA, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA
Via dell'Innovazione 10-20126 Milano, Tel: 02 64483793, Fax: 02 64483788,
rossana.actis@unimib.it

DANIELE ZAVAGNO

DIPARTIMENTO DI PSICOLOGIA, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA
Via dell'Innovazione 10 -20126 Milano, Tel: 02 64483814, Fax: 02 64483788,
daniele.zavagno@unimib.it

MARIALUISA MARTELLI

DIPARTIMENTO DI PSICOLOGIA, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA "LA
SAPIENZA"
Via dei Marsi 78- 00185 Roma, Tel 06 49917650, Fax: 06 49910382
Marialuisa.Martelli@uniroma1.it

ROBERTA DAINI

DIPARTIMENTO DI PSICOLOGIA, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA
Via dell'Innovazione 10 -20126 Milano, Tel: 02 64483745, Fax: 02 64483788,
roberta.daini@unimib.it

L'illusione di White (o illusione di Munker-White) consiste in una serie di barre verticali alternativamente bianche e nere sulle quali si stagliano delle barre grigie di dimensioni più ridotte.

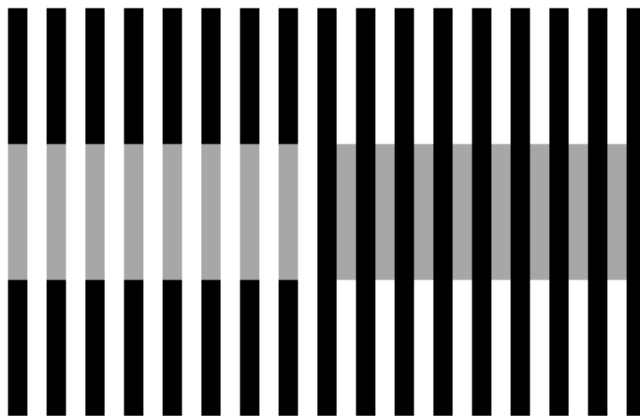


Fig. 1. - L'illusione di White.

L'illusione consiste nel fatto che le barre grigie hanno tutte la medesima chiarezza, eppure l'occhio umano tende a percepire quelle di sinistra come più chiare rispetto a quelle di destra.

Una spiegazione dell'effetto-White basata sul contrasto locale (ad esempio sulla regola del rapporto di Wallach) prevederebbe che le barre grigie nella parte sinistra di figura 1 risultino più scure rispetto alle barre grigie nella parte destra: infatti nella configurazione di sinistra il rettangolo grigio è circondato più da bianco che da nero (e viceversa per la parte di destra) e quindi il contrasto dovrebbe agire nella direzione opposta a quello che di fatto si verifica.

Sono state proposte diverse teorie esplicative (raggruppamento percettivo, T-junction, ancoraggio ecc.), ma non esiste un generale accordo sulla sua spiegazione. Di fatto, tutte le interpretazioni chiamano in causa l'assimilazione, riproponendo l'eterno conflitto tra contrasto e assimilazione. Il fenomeno dell'assimilazione, noto anche come *eguagliamento*, è l'effetto esattamente contrario a quello del contrasto. Musatti (1953) e Helson (1963) – riprendendo un'osservazione già fatta nel 1874 da Von Bezold - osservarono che in alcune situazioni particolari non si verificava il fenomeno di contrasto, ma, al contrario, una situazione di eguagliamento: le due superfici contigue acquistavano ognuna la componente cromatica dell'altra (Figura 2).

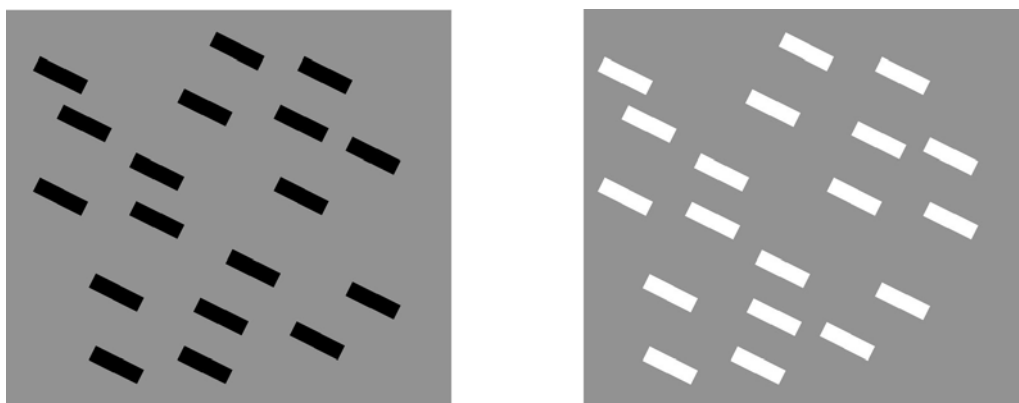


Fig. 2. - Il fenomeno dell'assimilazione: il rettangolo di sinistra sembra più scuro di quello di destra, pur essendo fisicamente identico.

La versione colorata dell'illusione. Occorre premettere che si possono avere versioni colorate di tre tipi: (i) barre alternativamente bianche e nere con sagome colorate, (ii) barre colorate con sagome grigie e (iii) barre colorate con sagome colorate. La letteratura sulla Munker si è limitata a discutere la seconda di queste categorie (Anstis, 2004).

Da alcune osservazioni preliminari fatte sulla prima delle tre possibili versioni (si veda Figura 3 sinistra), sembra che questa non presenti differenze evidenti rispetto alla sua versione acromatica: le variazioni percepite sono a carico della chiarezza e non della tinta, esattamente come nella versione acromatica.

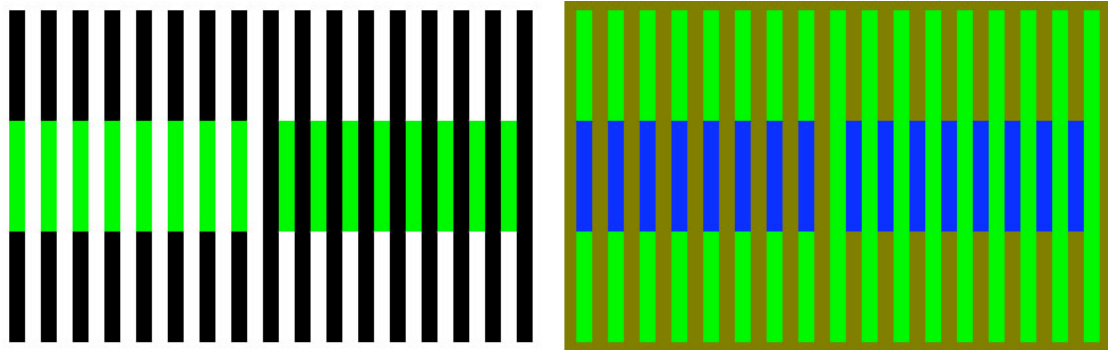


Fig. 3. - Varianti colorate dell'illusione di White.

Al contrario di quanto avviene nella versione acromatica, nello studio di Anstis, in cui vengono presentate barre colorate e sagome grigie, sembra che sia l'assimilazione che il contrasto simultaneo, sebbene in proporzione diversa (il contrasto avrebbe un ruolo maggiore), determinino l'effetto. Dunque l'effetto di contrasto sembra essere modulato dal colore dello stimolo inducente.

Le cose si complicano ulteriormente laddove si decida di studiare la terza possibile variante colorata della White, e cioè quella in cui sia le barre che le sagome sono colorate (figura 3 destra).

Un modo per studiare questi effetti è quello di valutarne la sensibilità in soggetti affetti da cecità a particolari colori, come ad esempio i soggetti affetti da dicromia, in cui è assente uno dei tre pigmenti dei coni retinici.

L'incidenza della deuteranopia (cecità per il verde) nella popolazione maschile è di circa l'1,5% ed è spesso non diagnosticata.

Lo studio di soggetti affetti da deuteranopia permette di verificare la reciproca influenza di tinta e chiarezza sul raggruppamento percettivo: utilizzando effetti illusori creati con colori che il soggetto deuteranopico vede come uguali (colori che si trovano sullo stesso asse di confusione) è possibile evidenziare l'apporto della tinta rispetto alla chiarezza.

A scopo esplorativo è stato studiato un singolo soggetto a cui sono state sottoposte varie versioni della illusione di Munker-White colorata, utilizzando sia colori sull'asse di confusione che colori facilmente e correttamente discriminabili. La sensibilità alle illusioni utilizzate mostra che sia la chiarezza che la tinta concorrono agli effetti di assimilazione e contrasto.

L'idea che il deficit di colore possa aver influito su altri aspetti della percezione anche in modo compensatorio è alla base di un secondo esperimento sul Glare Effect.

Nella sua forma standard, l'illusione consiste in una croce su uno sfondo bianco. Il centro della croce ha la stessa luminanza dello sfondo, mentre le braccia della croce presentano un gradiente lineare di luminanza (una "sfumatura") che va dal nero all'esterno al bianco all'interno (figura 4d).

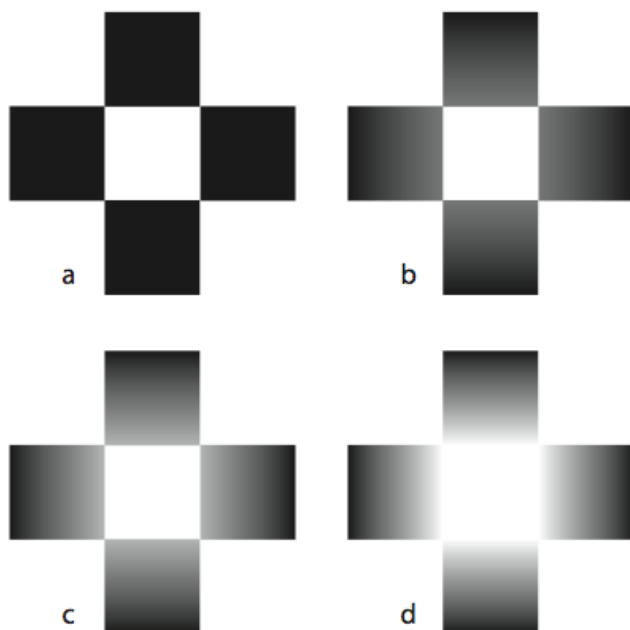


Fig. 4. -In **a** vi è totale assenza di gradienti, e infatti non vi è una differenza percettiva tra la chiarezza del target (quadrato centrale) e lo sfondo bianco; in **b** alcuni soggetti già individuano una differenza di chiarezza tra target e sfondo, differenza che è ancora più accentuata in **c** e massimamente espressa in **d** (adattato da Zavagno, Annan, e Caputo, 2004).

Gli osservatori riportano di vedere un quadrato luminoso centrale la cui luce si espande sopra le braccia nere di una croce (Zavagno, 1999). Zavagno e Caputo (2001, 2005) hanno dimostrato che l'illusione dipende da un rapporto funzionale tra la luminanza del quadrato centrale (T), la luminanza dello sfondo (S) e l'estensione della gamma di luminanze del gradiente (G). Con T di luminanza relativamente alta e B di bassa luminanza, basta una estensione limitata del gradiente (per es. dal nero al grigio scuro) affinché si veda T come luminoso. È possibile, utilizzando un compito di aggiustamento, individuare la soglia di luminosità per diversi valori di B e di T. Questa soglia consiste, infatti, nella estensione della gamma delle luminanze di G necessaria per vedere T come luminoso

Utilizzando questo tipo di stimolo è possibile studiare se la soglia di luminosità percepita in soggetti con deuteranopia è paragonabile a quella di soggetti che presentano tutti e tre i tipi di coni regolarmente funzionante.

Per valutare quanto gli effetti ottenuti nei due esperimenti sopra descritti siano legati alle caratteristiche di organizzazione percettiva dell'osservatore deuteranopico abbiamo valutato le sue funzioni visive di base e la sua capacità di integrazione. Abbiamo esaminato le funzioni visive valutando i vari livelli di

elaborazione separatamente. Sono state così misurate le soglie di detezione di reticoli sinusoidali statici in funzione della loro frequenza spaziale (da 0.5 a 20 c/deg). E' stato misurato il punto di fusione dell'immagine di un campo circolare omogeneo di contrasto alternante (Flicker fusion). Il livello di identificazione è stato valutato misurando le soglie di contrasto per l'identificazione di oggetti in presenza ed in assenza di forte rumore esterno. Le abilità di integrazione spaziale sono state valutate misurando l'effetto di crowding con stringhe di lettere in funzione della loro eccentricità retinica.

Tutti gli esperimenti sono stati realizzati e somministrati su un Monitor calibrato controllato da un computer Macintosh utilizzando il programma MATLAB con la Psychophysics Toolbox (<http://psyctoolbox.org>; Brainard, 1997; Pelli, 1997).

I risultati hanno mostrato che le funzioni visive di base e di integrazione sono preservate. Vi sono alterati effetti illusori nei due esperimenti condotti. I risultati illustrano il ruolo specifico del contrasto e dell'assimilazione cromatica verso gli effetti dovuti alla chiarezza (luminanza). Soggetti affetti da un disturbo periferico nella visione dei colori, pur mantenendo normali capacità percettive, mostrano effetti illusori in alcuni casi più accentuati ed in altri ridotti. Questo dimostra che un disturbo del colore influisce non solo sulla percezione del colore ma anche su meccanismi più generali di organizzazione percettiva.

Bibliografia

1. Anstis S. (2004). White's effect in color, luminance and motion. In: Harris L. & Jenkin M. (Eds): Proceedings of the York University Conference in honor of D.M. Regan. Disponibile sul sito: <http://psy.ucsd.edu/~sanstis/SAPub.html>.
2. Clifford C. W. G., Spehar B. (2003). Using colour to disambiguate contrast and assimilation in White's Effect. Proc. Vision Sciences Annual meeting, Sarasota, FL.
3. Davidoff, J., Davies, I. & Roberson, D. (1999). Colour categories of a stone-age tribe. *Nature* 398, 203-204.
4. Munker H. (1970). Farbige Gitter, Abbildung auf der Netzhaut und übertragungstheoretische Beschreibung der Farbwahrnehmung. Habilitationsschrift, Ludwig-Maximilians-Universität München.
5. Pelli DG and A. B. Watson, "Temporal frequency channels in vision revealed by noise masking," *Percept.* 12, A6 (A) (1983).
6. Rosch, E. (1973). Color categories. *Cognitive Psychology*, 4, 328-350.
7. White M. (1979). A new effect of pattern on perceived lightness. *Perception*, 8, 413-416.
8. White M. (1981). The effect of the nature of the surround on the perceived lightness of gray bars within square-wave test gratings. *Perception*, 10, 215-230.
9. Zavagno D & Caputo G (2005). Glowing grays and surface white: the photo-geometric factors of luminosity perception. *Perception*, 34, 261-274.

10. Zavagno D, Annan V, Caputo G. (2004). The problem of being white: testing the highest luminance rule. *Vision*, 16, 149-159.
11. Zavagno D, & Caputo G (2001). The glare effect and the perception of luminosity. *Perception*, 30, 209-222.
12. Zavagno D (1999). Some new luminance-gradient effects. *Perception*, 28, 835-838.