



Ricerca di Sistema elettrico

Metodi sperimentali per la quantificazione dell'indice di resa cromatica di una sorgente luminosa e studio di approcci computazionali alternativi di tipo percettivo

A. Rizzi, C. Bonanomi, L. Blaso, O. Li Rosi, S. Fumagalli



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI MILANO

METODI SPERIMENTALI PER LA QUANTIFICAZIONE DELL'INDICE DI RESA CROMATICA DI UNA SORGENTE LUMINOSA E STUDIO DI APPROCCI COMPUTAZIONALI ALTERNATIVI DI TIPO PERCETTIVO

A. Rizzi, C. Bonanomi, Dipartimento di Informatica (Università degli Studi di Milano)

L. Blaso, O. Li Rosi, S. Fumagalli (ENEA)

Settembre 2013

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

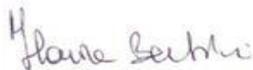
Piano Annuale di Realizzazione 2012

Area: Razionalizzazione risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto: Risparmio di energia elettrica nei settori: civile, Industria e servizi

Obiettivo: Sviluppo di prodotti efficienti per l'illuminazione – Materiali e componenti utilizzati per l'emissione e la trasmissione della luce

Responsabile del Progetto: Ilaria Bertini, ENEA



Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Metodi sperimentali per la quantificazione dell'indice di resa cromatica di una sorgente luminosa e studio di approcci computazionali alternativi di tipo percettivo"

Responsabile scientifico ENEA: Laura Blaso

Responsabile scientifico Università degli Studi di Milano: Alessandro Rizzi



Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 INDICI DI RESA CROMATICA.....	5
3 L'EFFETTO DEL CONTESTO.....	6
4 L'ESPERIMENTO.....	6
4.1 LE PATCH.....	7
4.2 SETUP DEL TEST.....	8
4.3 RISULTATI.....	10
4.4 GRAFICI E COMMENTI.....	10
5 CONCLUSIONI.....	15
6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	16
7 CURRICULUM SCIENTIFICO DEL GRUPPO DI LAVORO.....	17

Sommario

In questo rapporto viene descritto il lavoro svolto durante l'anno di progetto appena terminato, riguardante i test percettivi svolti per investigare il Color Rendering Index (CRI), o indice di resa cromatica. Il color rendering index è una misura di quanto una sorgente luminosa preserva l'apparenza cromatica degli oggetti osservati sotto di essa. Il metodo per valutare la bontà di una certa illuminante, è tornato materia di studio, in quanto i nuovi sistemi di illuminazione, in particolare quelli basati su tecnologia LED, possono avere una piacevole resa cromatica ma un indice di resa cromatica piuttosto basso. Da ciò segue che il vecchio indice CRI ha diminuito la sua affidabilità su un intero segmento di mercato in forte crescita. Ad oggi il calcolo del CRI si basa unicamente sulla distribuzione spettrale di potenza della sorgente di luce e non tiene conto di come la luce si distribuisce nella scena e di come il nostro sistema visivo elabora la scena percepita: in altre parole dei fattori spaziali, essenziali per determinare la resa visiva di una scena. In questo progetto sono stati svolti alcuni esperimenti percettivi volti a testare quanto tali aspetti spaziali impattassero sulla resa dell'apparenza cromatica al cambiare dell'illuminante. Da questi test si evince l'importanza della distribuzione spaziale dell'informazione cromatica per il calcolo dell'indice di resa cromatica. Ne segue che un approccio alternativo potrebbe essere molto utile per le prossime generazioni di CRI. Data la complessità dei meccanismi visivi i dati ottenuti da questa ricerca preliminare necessitano di ulteriori approfondimenti.

1 Introduzione

Nell'ambito del progetto "Risparmio di energia elettrica nei settori: civile, industria e servizi" viene di seguito riportata una relazione riassuntiva del lavoro svolto quest'anno per l'attività di ricerca dal titolo: *"Metodi sperimentali per la quantificazione dell'indice di resa cromatica di una sorgente luminosa e studio di approcci computazionali alternativi di tipo percettivo"*.

L'indice di resa cromatica, (in inglese Color Rendering Index - CRI) è una misura di quanto una sorgente luminosa preserva l'apparenza cromatica degli oggetti osservati sotto di essa. La formula per la misura di tale indice, utilizzata dalla ricerca e dall'industria, risale, con successivi aggiustamenti minori, al 1965.

Tuttavia a partire dall'avvento delle nuove tecnologie di illuminazione a LED, tale formula ha rivelato tutti i suoi limiti.

Gli autori di questa relazione ritengono che il CRI abbia una bassa veridicità se applicato alle nuove sorgenti, non per limiti nelle formule che computa o nel numero delle patch, ma perché considera un modello eccessivamente semplificato della visione umana e della complessità della distribuzione del campo di luce in una scena. Infatti il calcolo del CRI si basa unicamente sulla distribuzione spettrale di potenza della sorgente di luce.

Dopo l'analisi dello stato dell'arte sono stati fatti test percettivi con l'ausilio di utenti per verificare il risultato del CRI in configurazioni spaziali complesse.

2 Indici di resa cromatica

L'indice di resa cromatica è "[the] effect of an illuminant on the color appearance of objects by conscious or subconscious comparison with their color appearance under a reference illuminant." [1].

La procedura per il calcolo del CRI standard è datata 1965 a cui sono seguiti alcuni aggiustamenti minori.

Durante la procedura si confrontano otto campioni osservati sotto una illuminante test di cui si conosce lo spettro di emissione e una illuminante di riferimento e si misurano le differenze. Viene quindi effettuato un adattamento cromatico con lo scopo di aggiustare la cromaticità della sorgente di luce test rispetto all'illuminante di riferimento. In pratica se i campioni di colore osservati sotto le due sorgenti di luce sono molto simili, le differenze saranno minime ed il CRI calcolato sarà prossimo a 100, indicando un'ottima resa visiva. La procedura completa può essere trovata in [2].

Da alcuni anni sono stati evidenziati i limiti del CRI dimostrando che tale indice non è adatto a stimare la resa visiva delle nuove tecnologie di illuminazione come le sorgenti luminose a banda stretta fluorescenti o i led bianchi [3]. Sono stati quindi elaborati vari metodi alternativi: alcuni sono modifiche dell'indice base, altri invece si basano su approcci totalmente diversi.

Nel Color Quality Scale (CQS), proposto da Davis e Ohno [4-5] si tiene conto degli spostamenti di tinta e saturazione, considerando che una sorgente di luce con CCT molto alta o molto bassa può avere un valore di CRI elevato, ma avere scarsa resa visiva. Essi ipotizzano inoltre che l'utilizzo di una trasformazione di adattamento cromatico più appropriata eliminerebbe la necessità che le temperature colore della sorgente test e dell'illuminante di riferimento corrispondano.

Anche la CIE ha lavorato sull'ideazione di un nuovo indice di resa cromatica, denominato R96a e pubblicato nel 1999 con i commenti della commissione tecnica TC1-33 sulla resa del colore [6]. Tuttavia a causa dei disaccordi tra ricercatori e produttori, la commissione non fu in grado di definire uno standard.

Geisler-Moroder e Dur [7] hanno aggiornato la versione standard del CRI, utilizzando in pratica la stessa procedura, ma basandosi su equazioni diverse.

Szabò e al. [8] hanno ideato un indice basato sull'armonia dei colori. Secondo gli autori, l'armonia dei colori percepita varia quando la sorgente di riferimento viene sostituita con una sorgente test.

Smet et al. [9-10] hanno ideato un metodo che non avesse bisogno di una illuminante di riferimento: essi lavorano su oggetti reali, illuminati da sorgenti test. Il loro metodo (MCRI: memory color rendering index) è basato su una serie di esperimenti visivi: ad un gruppo di osservatori è stato richiesto di valutare l'apparenza colore di nove oggetti familiari. Il criterio di valutazione era la somiglianza con la realtà.

Da Pos et al. [11] delineano due nuovi indici di resa cromatica in cui non si fa riferimento allo spettro della sorgente di luce da analizzare ma all'influenza che la luce ha sulla percezione (multisensoriale) degli oggetti. Secondo gli autori i colori da utilizzare sono le unique hues (tinte uniche: rosso, verde, blu, giallo), che rappresentano la struttura base della nostro sistema visivo.

Yaguchi [12] basa il suo lavoro sulla categorizzazione dei nomi dei colori. Poiché il nome dei colori gioca un ruolo importante nei campi come la comunicazione, codifica, riproduzione dei colori, esso deve rimanere lo stesso indipendentemente dalle condizioni di vista. L'uso dei nomi dei colori risulta quindi essere un metodo utile per comunicare le informazioni sul colore sotto varie condizioni di illuminazione.

Li et al [13] propongono un metodo simile al CRI standard utilizzando in pratica spazi colori e formule più aggiornati.

Freyssinier e Rea [14] propongono un approccio che faccia uso di due misure, per valutare la resa cromatica di una sorgente di luce, affiancando al classico CRI un indice di gamut area che riguarda la capacità di discriminare colori differenti.

Oleari [15] propone due indici che insieme dovrebbero rappresentare la qualità della resa visiva di una sorgente di luce. Entrambi gli indici sono definiti sul color gamut teorico nello spazio OSA_UCS (L, G, J), i cui confini sono definiti dai limiti di MacAdam per una certa lightness L_{OSA} .

Bodrogi e altri [16-17] sviluppano l'RCRI (Rank-order based color rendering index): un indice di resa cromatica ricavato a partire da una serie di esperimenti psico-fisici.

Al posto di usare un limitato numero di campioni test, Whitehead e Mossman [18] suggeriscono di utilizzare un grandissimo numero (un migliaio o più) di spettri di riflettanza generati con un metodo Monte Carlo, andando a simulare molti colori con varie proprietà (di tinta, saturazione ecc...).

Hashimoto et al. [19] definiscono un indice FCI (Feeling of Contrast Index) da affiancare allo standard color rendering index, legato al concetto di chiara discriminazione tra i colori della superficie di vari oggetti sotto una certa sorgente di luce.

Nessuno però tra i molti tentativi di miglioramento del CRI originario considera la distribuzione spaziale della scena percepita e la sua relazione con il cambio dell'illuminante.

3 L'effetto del contesto

Come già affermato l'indice di resa cromatica cerca di misurare quanto viene preservata l'apparenza del colore degli oggetti osservati sotto una sorgente di luce test. Tuttavia il termine apparenza del colore si riferisce a come viene percepito il colore di un oggetto posto in un contesto specifico. Diverse configurazioni spaziali della scena possono modificarne infatti la percezione del colore. Due stimoli identici osservati in condizione di illuminazione diversi o in contesti diversi possono apparire differenti [20-21].

Le immagini che noi consideriamo essere "illusioni ottiche" sono configurazioni visive che non si comportano come ci aspetteremmo da un modello puntuale (cioè fuori contesto) del colore. Esse al contrario ci parlano di come funziona il sistema visivo umano. Grazie allo studio di queste configurazioni sono state identificate importanti proprietà del sistema visivo umano.

Seguendo questa idea è stato ideato un esperimento che facesse uso di un'illusione ottica (tratta dalla copertina del libro di Albers, "Interaction of color", [22]) per studiare l'influenza di una particolare configurazione spaziale sulla percezione del colore sotto diverse sorgenti di luce.

4 L'esperimento

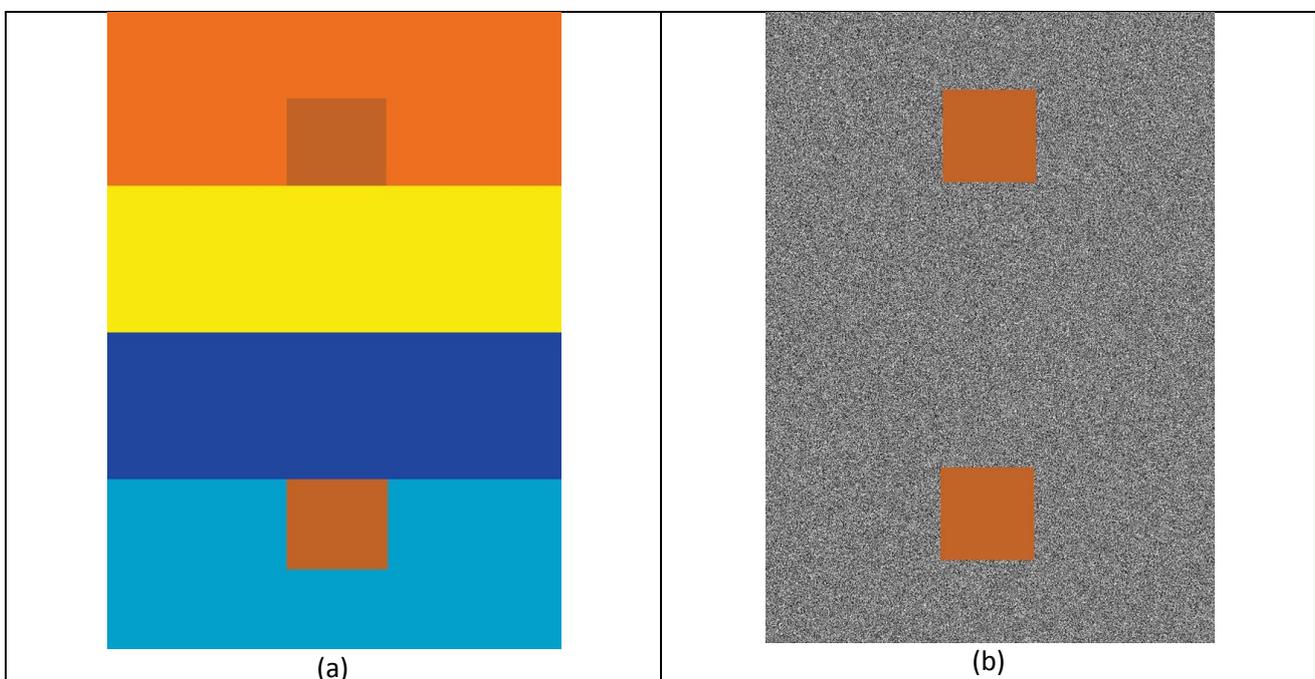
Scopo dell'esperimento è raccogliere dati che riguardano il cambiamento dell'apparenza cromatica in un dato contesto a seconda di quale sorgente luminosa è utilizzata. L'esperimento è avvenuto tra la primavera e l'estate, ha coinvolto 87 volontari, 47 donne e 40 uomini con un'età compresa tra i 10 e i 60 anni. I volontari sono stati reclutati durante l'Open Day del JRC (Joint Research Center) avvenuto il 4 Maggio 2013 e tra impiegati dell'Enea e del centro JRC.

4.1 Le patch

Per lo svolgimento dell'esperimento erano necessarie quattro diverse stampe, due di riferimento, da confrontare con altre due su cui erano stampate una serie di campioni. In particolare le quattro stampe erano così caratterizzate (figura 1):

- La prima stampa di test ricreava una famosa illusione di Albers (copertina del libro "Interaction of Color", [22]). Il foglio è diviso in quattro rettangoli orizzontali di colore diverso: arancione, giallo, blu e azzurro. Sui rettangoli arancione e azzurro sono posizionati due quadrati di colore marrone, che toccano un lato del rettangolo. I due quadrati hanno colore identico, ma a causa della configurazione spaziale appaiono differenti (fig. 1a).
- La seconda stampa, di controllo è composta da due quadrati dello stesso colore della stampa di test, posizionata nello stesso punto, ma questa volta posti su uno sfondo a rumore bianco. In questo caso l'effetto del contesto è identico su entrambe le patch, non causando la forte differenza percettiva del primo caso (fig. 1b).
- Una stampa composta da 19 patch, in modo che quella centrale abbia colore corrispondente a quelle dei test. Allontanandosi dal centro sui sei raggi il colore cambia gradualmente, in particolare variano una o due coordinate Lab del colore della patch. Per poter segnalare la patch corrispondente a quella di test, i campioni sono etichettati con dei numeri acromatici (fig. 1c).
- Una seconda stampa composta delle stesse patch ma disposte in ordine casuale e etichettate con lettere acromatiche (fig. 1d).

Le stampe hanno dimensione A4. Per poter svolgere l'esperimento contemporaneamente nei 4 box sono state stampate 4 copie di ogni foglio, dopo aver scaldato la stampante ed aver eliminato le prime copie, così da minimizzare la variabilità di ogni singola copia.



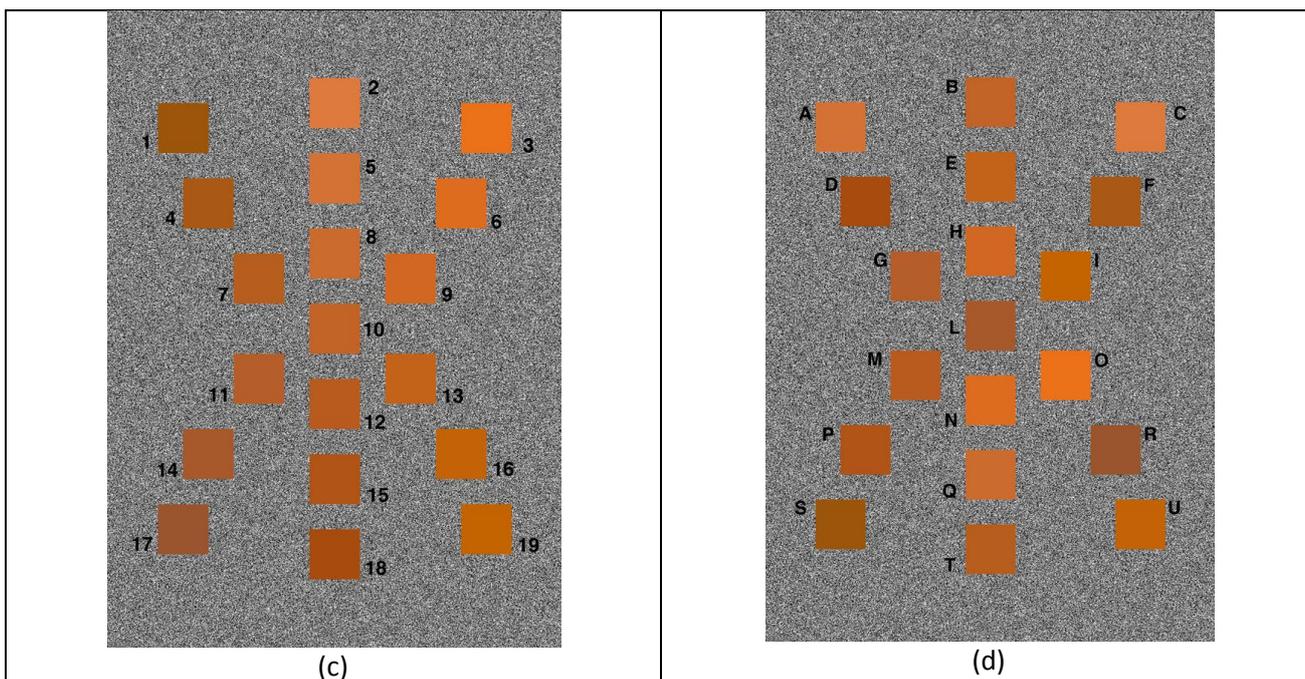


Figura 1: immagini usate durante l'esperimento. Sulla prima riga i fogli di test (a) e di validazione (b). Sotto i campioni per il confronto, etichettati da numeri (c) e da lettere (d)

4.2 Setup del test

Sono state costruite quattro cabine di luce di dimensione 1m x 1m x 0.8 m. All'interno sono ricoperte con carta bianca. Le quattro cabine denominate Box 1, Box 2, Box 3 e Box 4 sono disposte in modo che effettuando il test in una non sia possibile vedere l'apertura della cabina a fianco (figura 2). I box sono stati collocati all'interno di una stanza quasi completamente buia nella quale i livelli di illuminamento non erano tali da compromettere la buona riuscita dell'esperimento.

Sono state testate sette sorgenti luminose all'interno delle 4 cabine, per cui l'esperimento è diviso in due fasi. Nei Box 1, 2 e 4 sono posizionate due lampade, accese una alla volta, a seconda che sia fase 1 o fase 2. Nel box 3 sono alloggiare due lampade identiche per garantire le stesse condizioni luminose (uniformità di illuminamento ed illuminamento medio) presenti negli altri box quando una sola delle altre sorgenti luminose è accesa. Gli utenti coinvolti nel test hanno testato 8 condizioni luminose, ripetendo due volte il box 3 (inconsapevoli che fosse la stessa sorgente). La tabella 1 riassume le sorgenti di luce usate.

Tabella 1: Tipo di lampada usata e rispettivo box.

Etichetta	Fase	Box	sorgente
B1S1	I	1	CFL
B2S1	I	2	CFL
B3S1	I	3	LED BEGHELLI
B4S1	I	4	CFL
B1S2	II	1	LED PHILIPS
B2S2	II	2	ALOGENA
B3S2	II	3	LED BEGHELLI
B4S2	II	4	LED OSRAM

Prima di cominciare l'esperimento, agli utenti sono state fornite le istruzioni relative alla compilazione del questionario con i dati personali (iniziali di nome e cognome, sesso, età, colore degli occhi, eventuali problemi di vista ed uso di lenti a contatto o occhiali durante l'esperimento) e successivamente, è stato spiegato loro quale sarebbe stato il compito per svolgere l'esperimento.

L'esperimento è diviso in due parti: la fase di test e la fase di validazione. In entrambi i casi sono presenti all'interno di ciascun box tre fogli disposti nel seguente ordine:

- A sinistra: foglio con i campioni etichettati dai numeri
- Al centro: foglio con i campioni target oggetto del test
- A destra: foglio con i campioni etichettati da lettere.

In figura 2 possibile vedere il setup dell'esperimento (a) e una fase dello stesso (b).

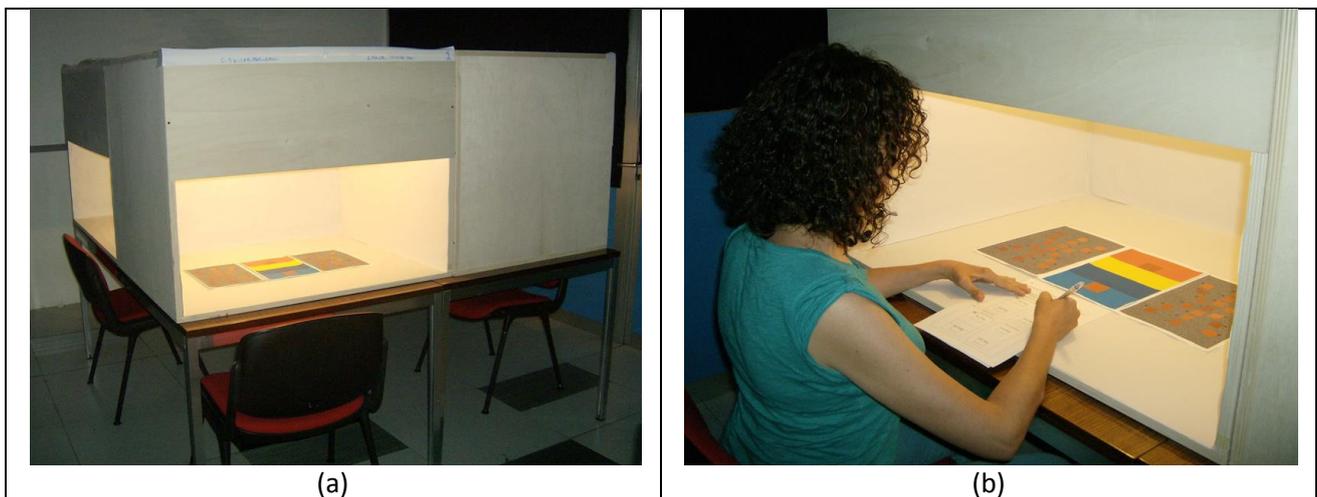


Figura 2: (a): setup dell'esperimento. In figura è visibile la distribuzione dei 4 box. (b): fase dell'esperimento. Al centro è visibile il foglio con l'illusione di Albers. Ai lati i fogli con i campioni necessari per il confronto.

Agli utenti è stato chiesto di osservare prima il riquadro arancione di riferimento, su fondo colorato che è posto nella parte alta del foglio centrale, poi di osservare i riquadri posti a sinistra (identificati con un numero) e di associare quello che si avvicinava di più come apparenza a quello di riferimento e quindi trascrivere la scelta sul questionario; quindi ripetere la stessa cosa con i riquadri di destra (identificati con lettere) e trascrivere la scelta sul questionario.

Completata la parte alta del questionario, è stato chiesto di ripetere la stessa cosa osservando il riquadro arancione di riferimento posto nella parte bassa del foglio ed associare il riquadro di sinistra e poi quello di destra che più si avvicina all'apparenza di quello di riferimento e quindi compilare il questionario.

Terminata la prima parte, è stato rimosso il foglio centrale con i riquadri di colore arancione su fondo colorato ed è stato chiesto di ripetere l'osservazione, con le stesse modalità di prima, e di confrontare il nuovo foglio con i due riquadri di colore arancione su fondo grigio con i fogli posti a sinistra ed a destra.

Prima di procedere con l'esperimento è stato chiesto agli utenti di dare risposte spontanee in modo che la componente logica mentale non fosse preponderante ma che prevalesse la prima impressione visiva. Inoltre è stato spiegato loro che avrebbero effettuato il test con una prima serie di lampade (4 lampade diverse ciascuna collocata in un box) e che dopo una breve pausa tecnica (per consentire il cambio di accensione delle lampade e fare riposare gli occhi degli utenti) avrebbe ripetuto l'esperimento con una seconda serie di lampade (sempre 4 diverse ciascuna collocata in un box). Non è stato detto loro che nel box 3 le lampade sarebbe rimaste le stesse per la prima e la seconda parte del test.

Terminata la fase di istruzione gli utenti sono entrati nella stanza e si sono seduti ognuno di fronte ad un box. Ogni utente ha osservato i fogli contenuti in ciascun box seguendo il senso di rotazione: box 1, box 2, box 3, e box, 4. Terminato la prima serie di osservazioni, dopo una pausa di pochi minuti, hanno continuato il test con la seconda serie di lampade seguendo lo stesso senso di rotazione: box 1, box 2, box 3, e box 4. Prima di cominciare a compilare il questionario gli utenti sono stati invitati ad osservare semplicemente i fogli in modo che vi fosse adattamento cromatico alla lampada nel box.

Si precisa che le lampade della prima serie, essendo lampade CFL, venivano accese 20 minuti prima del test mentre le lampade della seconda serie, essendo LED o alogena, non richiedevano alcuna accensione anticipata.

Gli utenti erano seduti comodi a loro piacimento e liberi di muoversi così da compensare eventuali riflessi interni, in caso molto contenuti, visto l'alto grado di diffusione dell'illuminazione all'interno di ogni box.

4.3 Risultati

In tabella 2 sono riportati i risultati. Per evitare complicazioni in questo report riportiamo le valutazioni dei LED in box 3 della prima fase (B3S1) e non della seconda (B3S2). I dati della seconda fase verranno analizzati successivamente.

Per ogni sorgente di luce testata sono riportate le prime tre patch scelte dagli utenti, secondo il criterio di somiglianza, per i quattro casi in esame (patch su sfondo arancione, patch su sfondo azzurro, patch in alto su sfondo bianco e nero, patch in basso su sfondo bianco e nero, BN). Tra parentesi viene riportata la somma delle scelte ricevute per le patch corrispondenti, etichettate con i numeri e con le lettere. Secondo questo criterio, per esempio, nel Box 1, utilizzando la sorgente 1, la patch sullo sfondo arancione è stata associata maggiormente alla patch numero 14, ricevendo 34 voti. La seconda patch più scelta è la numero 18 con 28 voti, e la terza è la patch numero 4, anch'essa con 28 voti.

Tabella 2: risultati dell'esperimento. Patch maggiormente scelte e numero di occorrenze.

Sorgente di luce	Patch nel contesto		Patch non nel contesto	
	Patch su sfondo arancione	Patch su sfondo azzurro	Patch alta su sfondo BN	Patch bassa su sfondo BN
B1S1	14 (34)	16 (29)	10 (37)	13 (45)
	18 (28)	8 (29)	13 (34)	8 (29)
	4 (28)	9 (28)	12 (19)	16 (25)
B2S1	14 (35)	8 (36)	10 (47)	13 (50)
	4 (30)	13 (30)	13 (25)	8 (28)
	1 (21)	16 (24)	12 (25)	10 (27)
B3S1	14 (45)	9 (32)	10 (49)	10 (36)
	4 (29)	8 (28)	13 (33)	12 (28)
	1 (23)	13 (21)	12 (22)	13 (23)
B4S1	4 (38)	8 (34)	10 (50)	12 (50)
	14 (32)	13 (33)	12 (42)	10 (27)
	17 (17)	11 (20)	8 (14)	8 (22)
B1S2	14 (49)	8 (43)	13 (37)	13 (47)
	4 (34)	9 (35)	10 (37)	8 (26)
	18 (21)	13 (27)	12 (27)	10 (25)
B2S2	14 (36)	8 (33)	10 (41)	13 (33)
	18 (27)	13 (29)	13 (33)	10 (29)
	4 (24)	9 (28)	12 (24)	8 (22)
B4S2	4 (48)	8 (38)	8 (40)	8 (39)
	14 (28)	9 (28)	10 (28)	10 (31)
	1 (19)	16 (19)	9 (25)	13 (25)

Dall'osservazione dei dati in tabella (riportati in modo grafico e completo nella sezione 4.4) emerge come il cambio dell'illuminante provochi uno spostamento dell'apparenza disomogeneo e non lineare. Una diversa luce cambia l'apparenza di patch identiche in modo diverso a seconda non solo dell'interazione tra riflettanza ed illuminante ma anche del contesto in cui la patch si trova.

Anche la diversa distribuzione spaziale con cui sono state organizzate le due scale usate per la determinazione dell'apparenza delle patch campione ha portato a differenze nella valutazione finale dell'apparenza.

4.4 Grafici e commenti

Riportiamo di seguito in forma di grafico tridimensionale il numero di occorrenze per ogni patch nelle quattro situazioni considerate (due quadrati arancioni presenti nella illusione di Albers, due quadrati su

sfondo a rumore bianco). Il numero di occorrenze è rappresentato dall'altezza del parallelepipedo. Il punto del piano su cui appoggiano i parallelepipedi è quello del campione relativo nella chart etichettata con i numeri. Il colore dei parallelepipedi riprende il colore della patch che rappresentano.

Abbiamo preferito questa configurazione, rispetto a quella che utilizza le lettere, perché è più facile vedere intorno a quali valori i risultati si raggruppano. Infatti, come già specificato, nella configurazione in cui i campioni sono etichettati da numeri, le patch spazialmente vicine sono anche quelle più vicine colorimetricamente. Alcuni dei parallelepipedi sono divisi in due in altezza. La parte sotto riguarda i dati ricavati comparando la chart etichettata con i numeri, la parte alta riguarda i dati ricavati dalla chart etichettata con le lettere. Quando un parallelepipedo è diviso in due parti uguali significa che la patch è stata scelta lo stesso numero di volte sia dal campionario etichettato coi numeri che da quello etichettato con le lettere. Se invece vi è una forte differenza tra la parte bassa e quella alta significa che la patch è stata scelta più volte in un campionario rispetto all'altro.

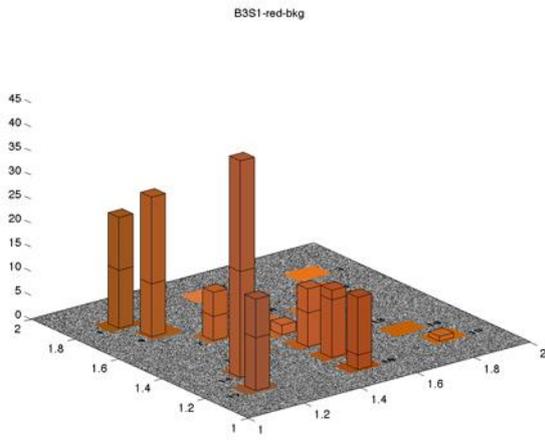
Come visibile dai casi in cui questa differenza è significativa, anche la disposizione spaziale delle patch sui due diversi campionari gioca un ruolo nel matching dell'apparenza. Questa correlazione tra disposizione spaziale del campionario e scelta della patch da parte degli osservatori è ancora in fase di analisi.

Oltre al visibile effetto spaziale relativo alla disposizione delle patch si può notare uno spostamento dell'apparenza disomogeneo e non lineare rispetto al cambio dell'illuminante. La quantificazione e caratterizzazione di tale spostamento è ancora in fase di studio.

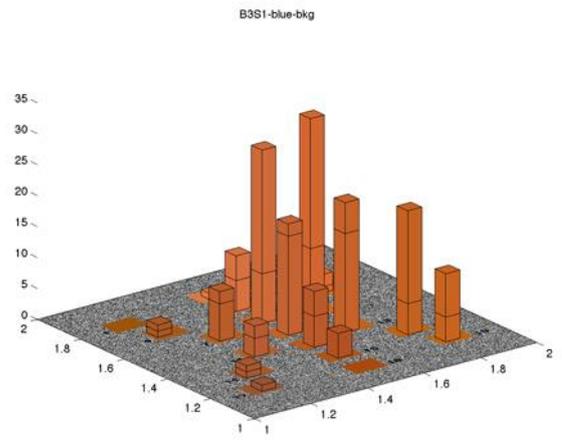
I dati in tabella 2 riportano i valori dei tre parallelepipedi più alti di ogni grafico.

Patch nel contesto – illusione di Albers	
Patch su sfondo arancione	Patch su sfondo azzurro
<p>Box 1, sorgente 1</p>	<p>Box 1, sorgente 1</p>
<p>Box 2, sorgente 1</p>	<p>Box 2, sorgente 1</p>

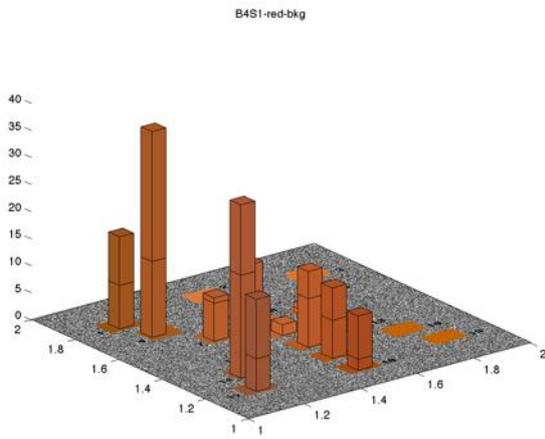
Box 3, sorgente 1



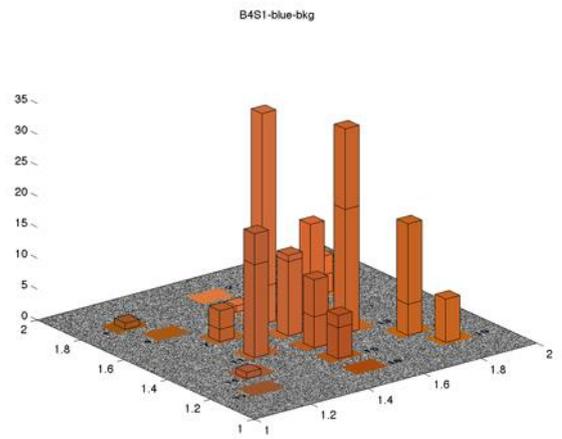
Box 3, sorgente 1



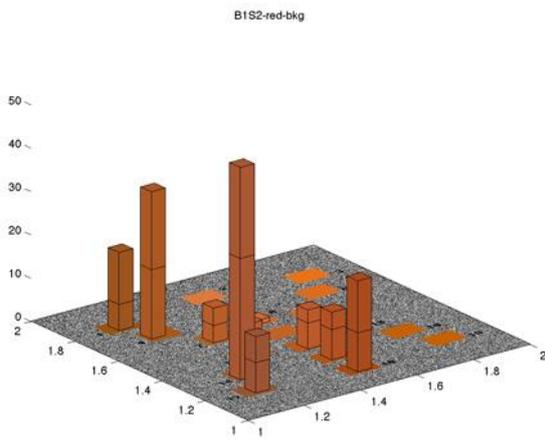
Box 4, sorgente 1



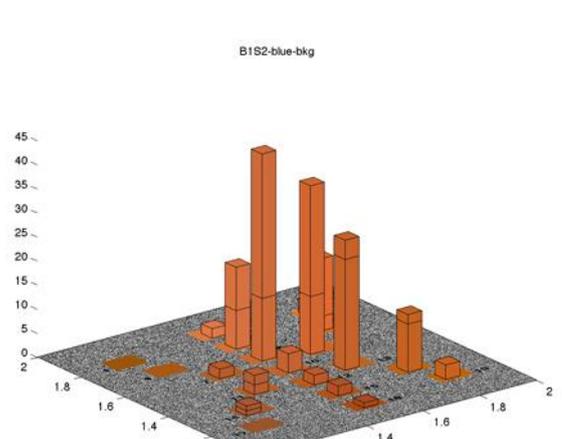
Box 4, sorgente 1



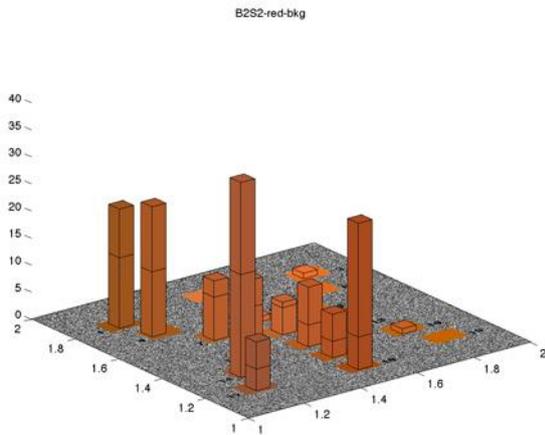
Box 1, sorgente 2



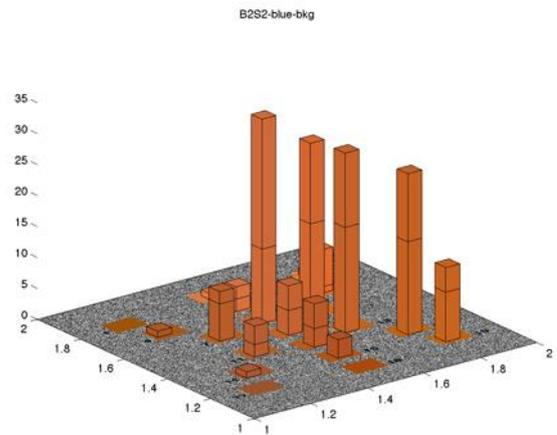
Box 1, sorgente 2



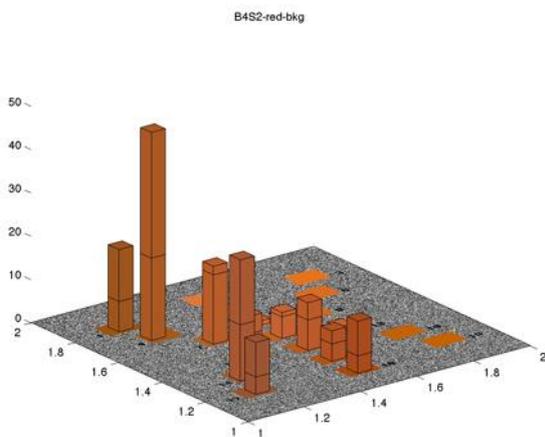
Box 2, sorgente 2



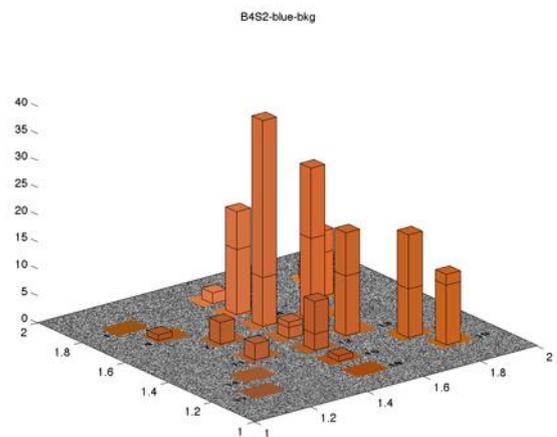
Box 2, sorgente 2



Box 4, sorgente 2



Box 4, sorgente 2



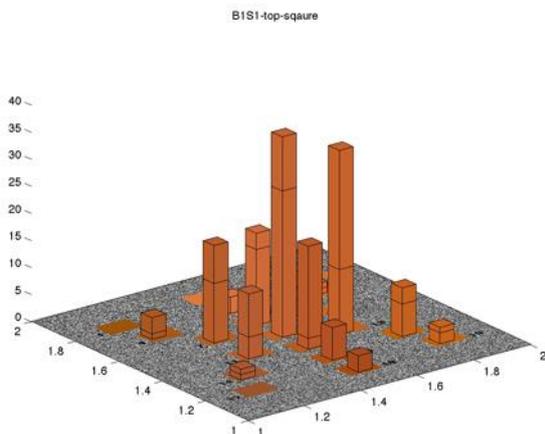
Di seguito riportiamo i grafici dei risultati delle patch di controllo, cioè osservate fuori dal contesto illusorio. In questo caso vediamo come la scelta sia molto più omogenea e si concentri intorno alle patch centrali (10 e 13, come si deduce anche dalla tab. 2), dello stesso colore della patch test.

Patch non nel contesto – sfondo di rumore bianco

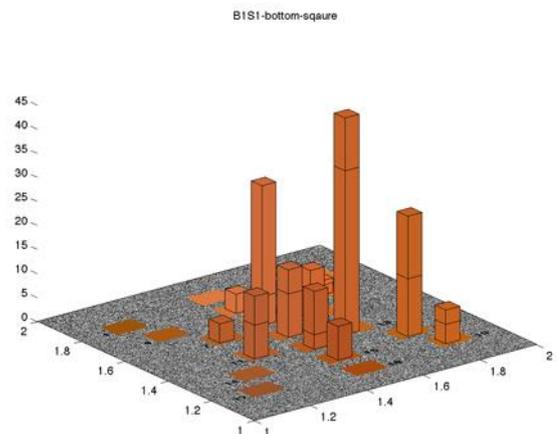
Patch nella parte alta

Patch nella parte bassa

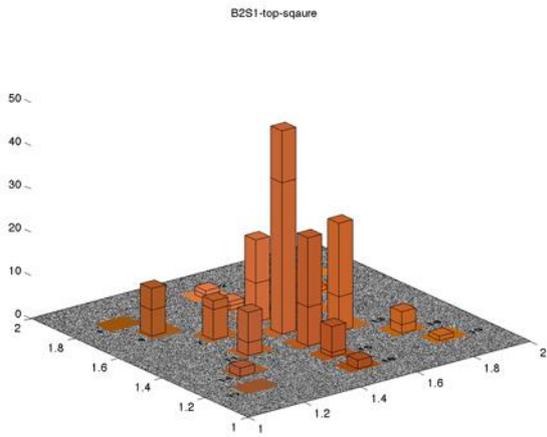
Box 1, sorgente 1



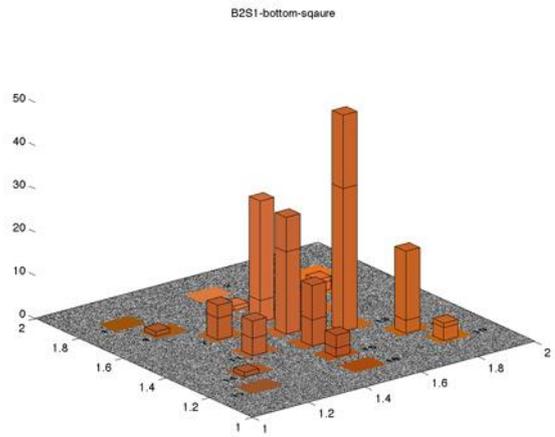
Box 1, sorgente 1



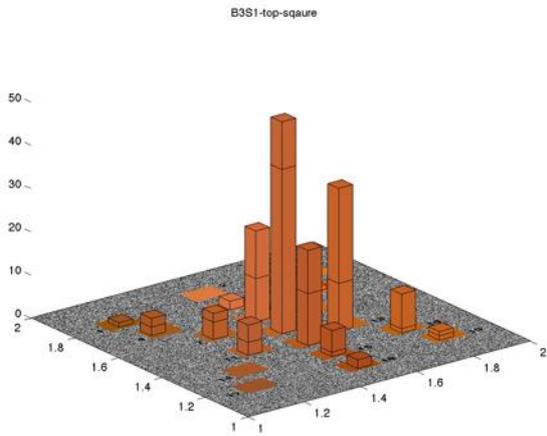
Box 2, sorgente 1



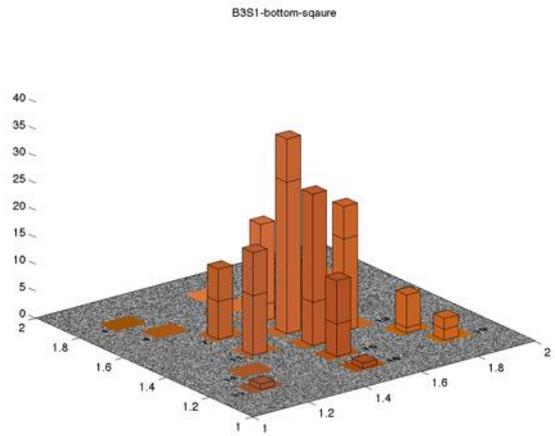
Box 2, sorgente 1



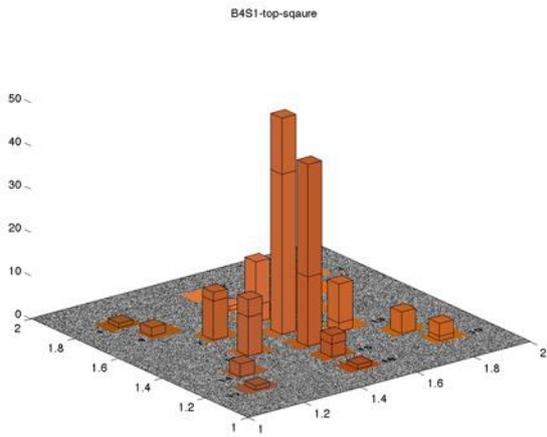
Box 3, sorgente 1



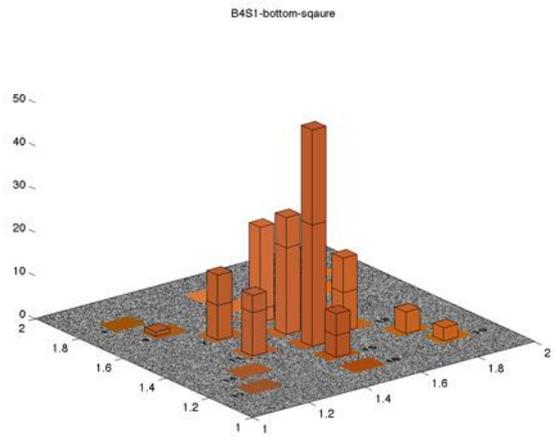
Box 3, sorgente 1



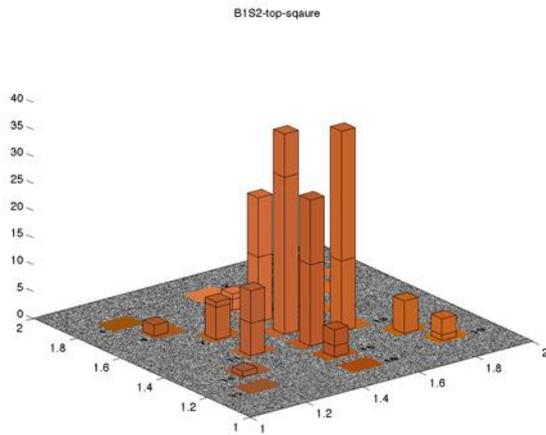
Box 4, sorgente 1



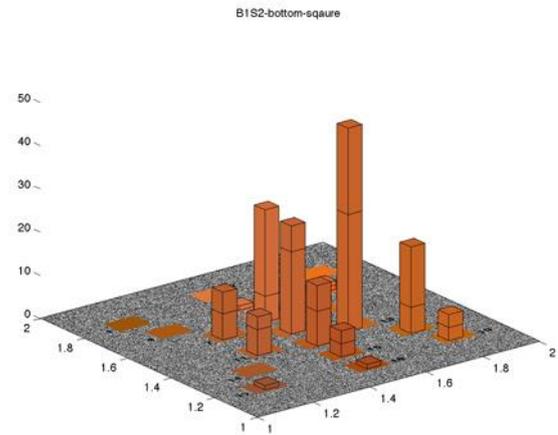
Box 4, sorgente 1



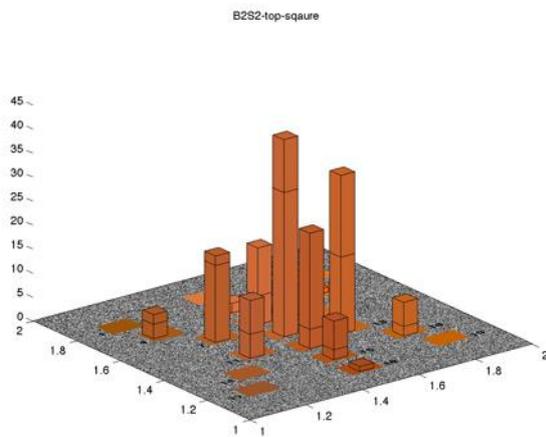
Box 1, sorgente 2



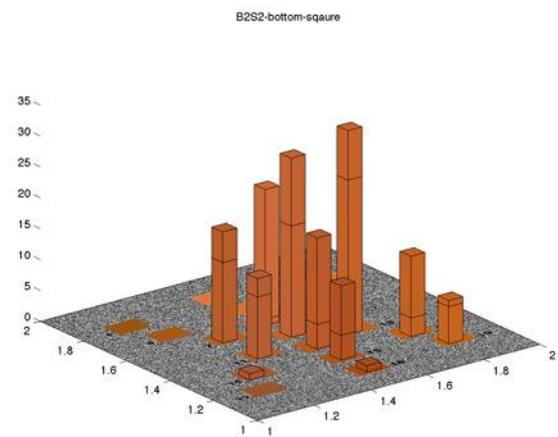
Box 1, sorgente 2



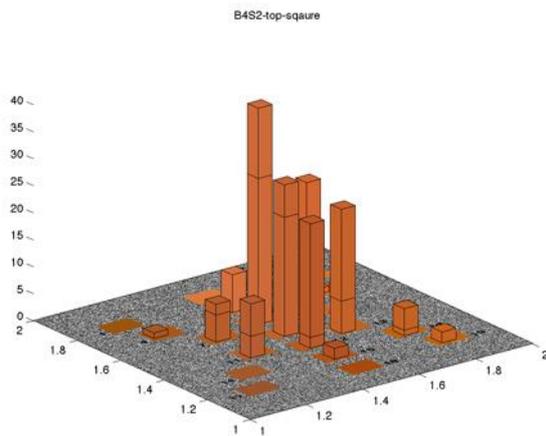
Box 2, sorgente 2



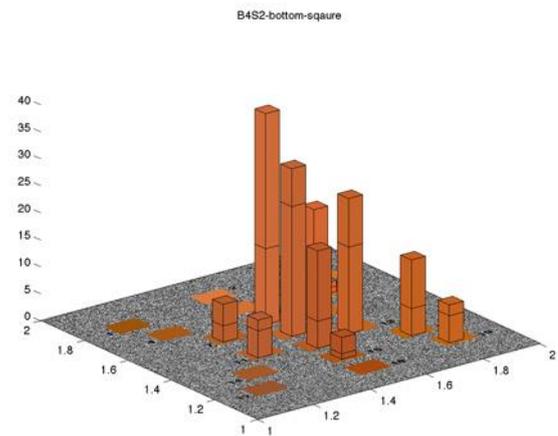
Box 2, sorgente 2



Box 4, sorgente 2



Box 4, sorgente 2



5 Conclusioni

In questo report è stato presentato un esperimento che riguarda la diversa percezione della resa cromatica in configurazioni spaziali particolari, come può essere quella del campo delle illusioni visuali. Tale esperimento ha messo in evidenza la necessità di sviluppare una nuova generazione di CRI che considerino oltre allo spettro della luce d test, la sua distribuzione spaziale nella scena. Nessuno degli indici di resa cromatica sviluppati fino ad ora presenta caratteristiche di questo tipo.

La sensazione e la percezione del colore sono argomenti complessi, fenomeni che avvengono durante un percorso che va dall'occhio al cervello. Una delle proprietà che guidano la nostra visione è il concetto di località: il colore viene percepito in base al contesto in cui viene osservato. Il sistema visivo umano non registra in maniera oggettiva la realtà, ma la percepisce in maniera diversa a seconda delle condizioni, di illuminazione e della configurazione spaziale della scena.

Questo esperimento mostra come sia importante sviluppare un indice di resa cromatica che consideri i colori non solo nelle loro caratteristiche globali di riflettanza ma anche locali di contrasto spaziale, considerando la loro disposizione all'interno della scena.

La fase dei test è risultata essere più lunga e complessa del previsto. La progettazione, l'allestimento e infine lo svolgimento del test hanno impiegato più tempo e risorse inizialmente preventivate. Lo sforzo ha riguardato anche l'alto numero di partecipanti coinvolti.

I risultati hanno evidenziato un'influenza del contesto come ipotizzato, ma la complessità dei dati analizzati ha evidenziato una dipendenza spaziale difficile da caratterizzare e quantificare con modelli semplici o lievi modifiche a modelli preesistenti. La lettura e la comprensione dei dati risultanti dagli esperimenti compiuti, oggetto di questa relazione, suggeriscono di approfondire ulteriormente l'effetto del contesto attraverso ulteriori esperimenti, prima di procedere con lo sviluppo di un nuovo indice di resa cromatica.

Da questo esperimento è emersa chiaramente la necessità di proseguire nella ricerca e nella sperimentazione riguardante le misure di resa cromatica delle sorgenti luminose, tenendo in considerazione il contesto di visione e la distribuzione spaziale dei colori all'interno della scena.

6 Riferimenti bibliografici

1. CIE 17.4-1987 "International Lighting Vocabulary", ISBN 978 3 900734 07 7.
2. C. Oleari (a cura di), "Misurare il colore", Hoepli, 1998.
3. S. Brueckner, P. Bodrogi, T. Q. Khanh, "Colour Rendering of new white LED light sources – visual tests," Proceedings of Lux Europa, Istanbul, 2009, pp. 397-404.
4. W. Davis, Y. Ohno, "Toward an improved color rendering metric," Proceedings of SPIE 5941, I.T. Ferguson, J.C. Carrano, T. Taguchi, and I.E. Ashdown, eds., San Diego: 2005.
5. W. Davis, Y. Ohno, "Development of a Color Quality Scale," Proceedings of Light and Color in Lighting Research Office Symposium, 2006.
6. CIE, Colour Rendering, TC 1-33 closing remarks, CIE Pubbl. No. 135/2, 1999.
7. D. Geisler-Moroder, A. Dur, "Color-rendering indices in global illumination methods," Journal of Electronic Imaging, vol. 18, 2009, pp. 043015-12.
8. F. Szabó, I. Zilizi, P. Bodrogi, J. Schanda, "Visual experiments on colour harmony: a formula and a rendering index", CIE 2007 Session. Beijing, China, 2007.
9. K. Smet, W.R. Ryckaert, S. Forment, W. Hertog, G. Deconinck, P. Hanselaer, "Colour rendering: an object based approach," CIE Light and Lighting Conference with special emphasis on LEDs and Solid State Lighting, Budapest, Hungary: 2009.
10. K. Smet, S. Jost-Boissard, W. R. Ryckaert, G. Deconinck, P. Hanselaer, "Validation of a colour rendering index based on memory colours," in CIE Lighting Quality & Energy Efficiency, Vienna, 2010, pp. 136–142.
11. O. da Pos, M. L. Pietto, "Evaluation of light sources through the unique hues and a new multisensory semantic differential", Atti della VII conferenza Nazionale del Colore, Roma, 15-16 Settembre 2011.
12. H. Yaguchi, Y. Takahashi, S. Shioiri, "A proposal of color rendering index based on categorical color names". Internat. Lighting Congress, Istanbul 2001.
13. Li, C., Ronnier Luo, M., Li, C. and Cui, G. (2012), "The CRI-CAM02UCS colour rendering index", Color Res. Appl., 37, pp. 160–167.
14. J. P. Freyssinier-Nova, M. S. Rea, "A two-metric proposal to specify the color-rendering properties of light sources for retail lighting, in Tenth International Conference of Solid-State Lighting, Proceedings of SPIE (San Diego, CA, 2010).

15. C. Oleari, "Colour Rendering Quality of a Light Source and Perceived Colour Gamut as the MacAdam Limit of the Adapted Observer CIE 31 by Perfect Colour-Constancy Actuation in a Colour-Vision Model Based on the OSA-UCS System", published in Atti della VII conferenza Nazionale del Colore, Roma, 15-16 Settembre 2011.
16. P. Bodrogi, S. Brückner, T.Q. Khanh, "Ordinal scale based description of colour rendering", 2011, Color Res. Appl., 36, pp. 272–285.
17. P. Bodrogi, S. Brückner, T. Q. Khanh, "Re-defining the colour rendering index," CIE Proceedings 2009.
18. L. A. Whitehead, M. A. Mossman, "A Monte Carlo method for assessing color rendering quality with possible application to color rendering standards", 2012, Color Res. Appl., 37, pp.13–22.
19. K. Hashimoto, T. Yano, M. Shimizu, Y. Nayatani, "New method for specifying color-rendering properties of light sources based on feeling of contrast", 2007, Color Res. Appl., 32, pp. 361–371.
20. A. Rizzi, J.J. McCann, "On the behavior of spatial models of color", *IS&T/SPIE Electronic Imaging 2007*, S.Josè (California – USA), 28 gennaio – 1 febbraio 2007
21. E. Land and J. McCann, "Lightness and Retinex Theory", J. Opt. Soc. Am. 61(1), 1–11 (1971).
22. J. Albers, "Interaction of color", 1975

7 Curriculum scientifico del gruppo di lavoro

Il gruppo di ricerca fa capo a due laboratori del Dipartimento di Informatica dell'Università degli Studi di Milano, il laboratorio di Percezione, Fattori Umani e Tecnologie ed il laboratorio di Eidomatica. Entrambi i laboratori, con taglio diverso ma complementare si occupano di colore, percezione ed immagini digitali. Ai laboratori afferiscono due professori associati (Alessandro Rizzi e Daniele Marini), un ricercatore (Davide Gadia), due collaboratori di ricerca (Cristian Bonanomi e Gianfranco Garipoli) ed un dottorando (Enrico Calore).

Alessandro Rizzi è professore associato al Dipartimento di Informatica all'Università degli Studi di Milano. Insegna fondamenti di imaging digitale, informatica multimediale video, interazione uomo-macchina 1. Ricerca nel campo dell'imaging digitale e della visione dal 1990. È particolarmente interessato agli argomenti legati alla percezione applicata alle immagini digitali. È uno dei fondatori del gruppo italiano Gruppo del Colore. È autore di più di 200 articoli scientifici e ha recentemente pubblicato un libro scritto assieme a John McCann dal titolo "The Art and Science of HDR Imaging".

Cristian Bonanomi è collaboratore di ricerca al dipartimento di Informatica dell'Università degli Studi di Milano. Ha ricevuto il suo diploma di dottorato in Informatica nel 2011. È autori di vari articoli riguardanti l'apparenza del colore, elaborazione di immagini, percezione di ambienti tridimensionali e sistemi di illuminazione.