



Ricerca di Sistema elettrico

Indagine sulle variazioni locali dell'indice di resa cromatica e approcci per sue possibili modellizzazioni

A. Rizzi, C. Bonanomi



INDAGINE SULLE VARIAZIONI LOCALI DELL'INDICE DI RESA CROMATICA E APPROCCI PER SUE POSSIBILI
MODELLIZZAZIONI

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

Settembre 2015

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA


Piano Annuale di Realizzazione 2014

Area: razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia

Progetto: C.1. Risparmio di energia elettrica nei settori: civile, industria e servizi

Obiettivo: c. Sviluppo dei prodotti efficienti per l'illuminazione – c.1 Progettazione e sperimentazione di installazioni a LED

Responsabile del Progetto: Ilaria Bertini, ENEA



Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione tra ENEA e Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Informatica, per una attività di ricerca dal titolo: "Analisi dell'influenza dei fattori contestuali sulla resa cromatica delle sorgenti di luce"

Responsabile scientifico ENEA: Laura Blaso



Responsabile scientifico Università degli Studi di Milano: prof. Alessandro Rizzi



Indice

SOMMARIO.....	4
INTRODUZIONE.....	5
1 MISURARE LA RESA CROMATICA	5
2 SCOPO DELL'ESPERIMENTO	6
3 MODIFICHE AL PROTOCOLLO PER IL SUPERAMENTO DELLE CRITICITÀ.....	6
3.1 LE PATCH	6
3.2 RIDUZIONE DELLA DURATA DELL'ESPERIMENTO	10
4 L'ESPERIMENTO	11
4.1 SETUP DELL'ESPERIMENTO.....	11
4.2 SVOLGIMENTO DELL'ESPERIMENTO.....	12
4.3 ANALISI DEI RISULTATI.....	13
4.4 PATCH TARGET DI COLORE ARANCIONE	14
4.5 PATCH TARGET DI COLORE VERDE	17
4.6 PATCH TARGET DI COLORE BLU	20
5 DISCUSSIONE.....	23
6 DISSEMINAZIONE DEI RISULTATI	24
7 CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI.....	24
8 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	25
9 CURRICULUM SCIENTIFICO DEL GRUPPO DI LAVORO.....	26

Sommario

In questo report è descritto il lavoro svolto dal laboratorio MIPS del Dipartimento di Informatica, riguardante approcci alternativi all'indice di resa cromatica (CRI).

Nessuno degli indici attualmente disponibili, valuta il contesto, cioè ciò che circonda lo stimolo visivo considerato, un fattore considerato da noi molto importante, per la valutazione dell'apparenza finale.

Oggetto principale di questo report è la presentazione di un esperimento per verificare se il contesto può modificare la percezione della resa visiva di una sorgente di luce. Lo scopo del lavoro è valutare se questo parametro è rilevante ai fini della valutazione della resa cromatica, poiché, in caso di risposta affermativa, gli indici che verranno sviluppati nel futuro, dovranno tenerne conto.

Introduzione

In questo report è descritto il lavoro svolto riguardante approcci alternativi all'indice di resa cromatica (CRI). L'approccio classico prevede come unica informazione da analizzare per il calcolo del CRI lo spettro della sorgente di luce. Come dimostrato da vari esperimenti, il metodo standard per misurare la resa cromatica di una sorgente di luce, fallisce laddove la sorgente abbia uno spettro con bande strette. Per superare tale problema sono stati sviluppati recentemente una serie di indici ma nessuno di questi si è dimostrato adeguato a valutare la resa visiva di lampade fluorescenti o a LED.

Oggetto principale di questo report è la presentazione di un esperimento per verificare se il contesto visivo legato alla complessità dello stimolo all'interno della scena, può modificare la percezione della resa visiva di una sorgente di luce. In particolare, l'ipotesi sotto indagine è se la sola informazione spettrale dell'illuminante sia sufficiente per caratterizzare con sufficiente precisione le variazioni di apparenza cromatica in una scena determinate dal cambio della sorgente di illuminazione.

L'aspetto innovativo di questa attività è l'utilizzo di una configurazione visiva illusoria (il contrasto simultaneo cromatico, ideato da Albers, copertina del libro, "Interaction of color"), che da origine a un comportamento del sistema visivo spiegabile solo considerando alcune importanti proprietà dello stesso (le immagini che noi consideriamo essere "illusioni ottiche" sono configurazioni visive che non si comportano come ci aspetteremmo da un modello puntuale del colore). Questo ha portato all'ideazione dell'attività sperimentale utilizzando tale illusione per studiare l'influenza di una particolare configurazione spaziale sulla percezione del colore sotto diverse sorgenti di luce.

Nessuno degli indici attualmente disponibili considera il contesto, un fattore per noi invece estremamente importante. Lo scopo del lavoro è valutare se questo parametro sia rilevante ai fini della valutazione della resa cromatica, poiché, in caso di risposta affermativa, sarà necessario nel futuro progettare un indice che ne tenga conto.

Poiché il lavoro di quest'anno prosegue quello degli anni passati, è necessario ripetere alcuni concetti fondamentali, già descritti in report precedenti.

1 Misurare la resa cromatica

Riassumiamo brevemente i limiti del CRI, già discussi nel report precedente e citiamo alcuni approcci alternativi sviluppati da enti o centri di ricerca.

L'indice di resa cromatica indica quanto una sorgente di luce conservi l'aspetto dei colori degli oggetti [1]. In generale, la maggior parte delle misure di indice di resa cromatica usano come input la distribuzione spettrale di potenza (SPD) della sorgente. In genere, a causa del metodo di calcolo usato per valutare la resa cromatica, le fonti a spettro non continuo tendono ad avere un valore inferiore di quelle a spettro continuo. Visivamente però questo non si traduce necessariamente in una resa cromatica più povera, come riportato da recenti esperimenti [2].

La procedura per il calcolo del CRI standard è datata 1965 a cui sono seguiti alcuni aggiustamenti minori [3]. Recentemente sono stati introdotti nuovi indici allo scopo di superare i limiti di quello attuale. Tra questi ricordiamo: il Color Quality Scale (CQS) di Davis e Ohno [4-5], l'aggiornamento dello standard CRI di Geisler-Moroder e Dur [6], la versione della CIE, R96a, mai divenuto uno standard [7]. Szabò e al. [8] hanno ideato un indice basato sulla variazione dell'armonia dei colori tra sorgente di riferimento e sorgente test. Smet et al. [9-10] hanno ideato un metodo basato sulla memoria. Da Pos et al. [11] delineano due indici valutando l'influenza che la luce ha sulla percezione degli oggetti. Yaguchi [12] basa il suo lavoro sulla categorizzazione dei nomi dei colori. Li et al [13] aggiornano formule e spazi colore del CRI standard. Freyssinier-Nova e Rea [14] affiancano al classico CRI un indice di gamut area che riguarda la capacità di discriminare colori differenti. Oleari [15] propone due indici definiti sul color gamut teorico nello spazio OSA_UCS (L, G, J). Bodrogi e altri [16-17] sviluppano l'RCRI (Rank-order based color rendering index). Whitehead e Mossman [18] suggeriscono di generare spettri di riflettanza con un metodo Monte Carlo, per simulare molti colori con varie proprietà. Hashimoto et al. [19] definiscono un indice FCI (Feeling of Contrast Index) da affiancare allo standard color rendering index.

È importante sottolineare che l'indice di resa cromatica tenta di misurare l'apparenza del colore più che il colore stesso e come noto l'apparenza dipende non solo dall'illuminante ma anche dal contesto in cui il colore viene osservato.

In una scena reale i colori sono raramente visti in isolamento, su uno sfondo neutro. In genere i colori sono circondati da altri colori, e questo può portare ad una alterazione dell'aspetto dei colori stessi. La ricerca, portata avanti in questi anni, segue questa direzione.

2 Scopo dell'esperimento

Il lavoro svolto quest'anno ha avuto essenzialmente l'intento di superare le criticità riscontrate durante l'esperimento svoltosi l'anno scorso, con l'intenzione di ultimare questo lavoro sperimentale.

Lo scopo è testare in che misura i cambiamenti del contesto della scena possano alterare la stabilità della resa cromatica sotto un determinato illuminante. Durante il test è stato chiesto agli osservatori di confrontare alcune patch target osservate nel contesto con un insieme di patch di riferimento, e cercare quella maggiormente somigliante. Sono state utilizzate tre variazioni di una famosa configurazione visiva: il contrasto simultaneo di Albers [20] che produce ampie variazioni nell'apparenza di due patch identiche. In questo modo si vuole indagare se, e in quale misura, l'intensità dell'effetto visivo di Albers cambia al variare della sorgente di luce. Sotto una certa sorgente di luce, la configurazione dell'illusione di Albers produce uno spostamento misurabile (shift) dell'apparenza tra le due patch identiche. Ciò significa che una patch apparirà diversa da un'altra patch identica, vista su uno sfondo neutro. Il nostro interesse è valutare la direzione e l'intensità di tale spostamento.

Nell'esperimento, la scena è uniformemente illuminata dalle sorgenti in prova. Scambiare le sorgenti di luce produce un cambiamento globale uniforme della distribuzione della luce della scena. Allo stesso modo, una misura standard dell'indice di resa cromatica descrive le variazioni di resa dei colori che sono considerati a livello globale nella scena. Da qui l'idea base dell'esperimento.

Se il cambio di apparenza dipendesse esclusivamente dalla composizione spettrale della sorgente di luce che cambia, ci si dovrebbe aspettare una analoga stabile variazione nell'apparenza delle patch di test, a prescindere dal contesto in cui sono inserite, vale a dire, una variazione molto simile per entrambe le patch della configurazione di Albers, al variare degli illuminanti testati. Al contrario, se variando la sorgente di luce, l'apparenza cromatica delle patch dovesse variare in direzione e intensità diverse a seconda della loro posizione nella configurazione visiva, significherebbe che, non solo lo spettro dell'illuminante ma anche il contesto visivo gioca un ruolo nel modificare l'apparenza finale. Ne segue che anche la configurazione della scena, oltre allo spettro dell'illuminante, dovrebbe essere presa in considerazione nelle prossime generazioni di indici di resa cromatica.

3 Modifiche al protocollo per il superamento delle criticità

3.1 Le patch

Nell'esperimento precedente, il test era eseguito da quattro persone allo stesso tempo, valutando le patch in quattro diverse cabine di luce. I partecipanti usavano stampe differenti delle stesse patch. A causa dell'imprecisione della stampante, il colore di campioni che avrebbero dovuto essere uguali sui diversi fogli, risultavano avere un ΔE significativo (in alcuni casi si arrivava ad avere un ΔE superiore a 3).

Poiché il test aveva lo scopo di cogliere differenze minimali, un ΔE così alto non permetteva di trarre conclusioni definitive sui dati raccolti.

Per ovviare a tale problema, si è deciso di utilizzare una sola stampa per ogni tipo di target, che veniva spostata nei vari box, per variare la sorgente di luce.

Tuttavia, in questo modo, poteva partecipare all'esperimento solo una persona per volta. Per sfruttare la possibilità di usare più box ma anche per verificare il comportamento di altri stimoli colore, sono state create altre due versioni a colori diversi di questa illusione.

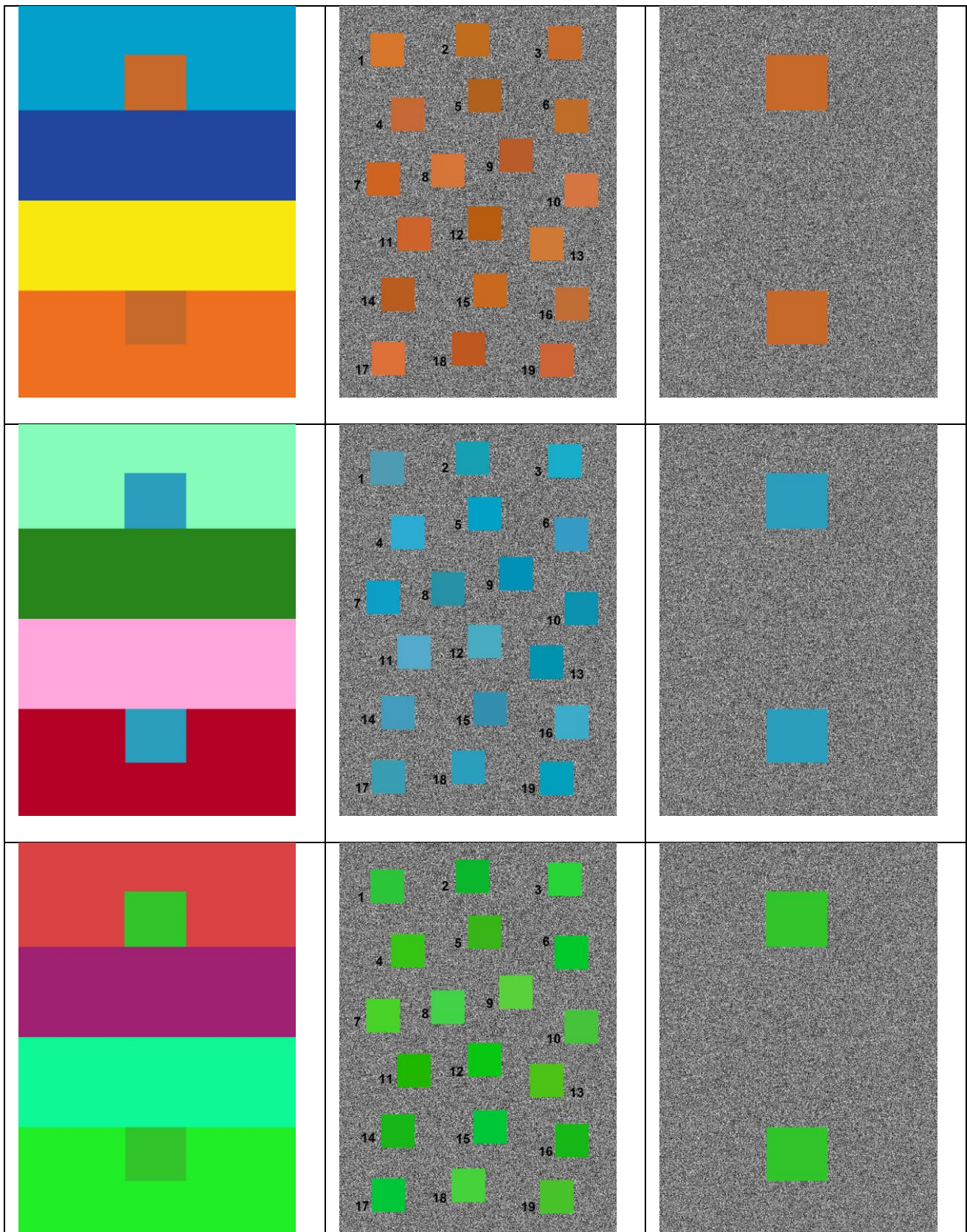


Figura 1: Riproduzione delle stampe usate nell'esperimento. Da sinistra a destra: configurazioni illusorie, riferimenti per il confronto, configurazione di controllo. Sulle tre righe: le variazioni cromatiche: patch arancioni, patch blu, patch verdi.

Tutte le immagini utilizzate sono visibili in figura 1. A sinistra sono rappresentate le configurazioni illusorie, al centro i riferimenti per il confronto e a destra le configurazioni di controllo. Le tre righe rappresentano le variazioni cromatiche: patch arancioni, patch blu, patch verdi. Un altro problema risiedeva nella scelta delle patch di riferimento, cui l'utente confrontava la patch target, alla ricerca di quella maggiormente somigliante.

La questione si è posta anche quest'anno, considerando la difficoltà di mappare su una superficie piana le variazioni di assi che definiscono uno spazio colore tridimensionale (L^* , a^* , b^*). Compiere una scelta significa escluderne altre.

La prima decisione riguarda il numero di patch da usare come riferimento. Il rischio di avere poche patch è quello che tutti i risultati, anche se lievemente differenti, ricadano in una stessa classe. Tuttavia, la finalità del test, è quella di valutare le differenze fini. Al contrario, averne troppe rischia invece di confondere il partecipante, allungando inoltre i tempi per lo svolgimento del test.

La seconda decisione invece, è determinare come distribuire le patch di riferimenti nello spazio colore.

Si è deciso di distribuirle come mostrato in figura 2, dove il cerchio rosso rappresenta il target, e le patch di riferimento sono costruite spostandosi di 5 unità nelle varie coordinate L^* a^* b^* di Photoshop, per un totale di 19 patch.

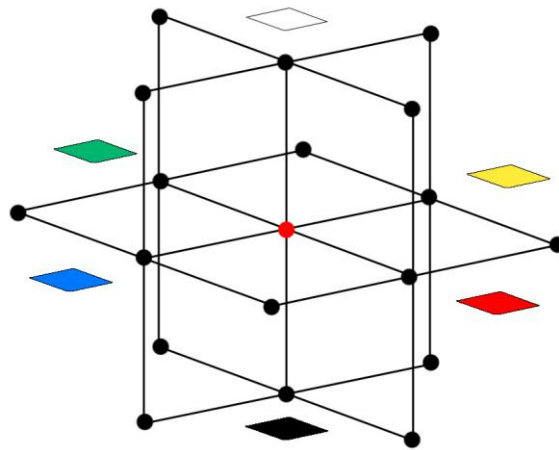


Figura 2: schema che mostra come sono state distribuite le patch nello spazio. Il cerchio rosso rappresenta la patch target.

Nelle tabelle 1 e 2 sono mostrate le coordinate in L^* , a^* , b^* delle patch target e riferimenti, generate in Photoshop e i relativi indici nei fogli. Per aumentare la distribuzione casuale delle patch tra cui scegliere e per evitare qualsiasi tipo di effetto memoria, le patch di riferimento sono distribuite in ordine diverso nei tre fogli, come descritto nelle tre colonne di destra della tabella 2.

Tuttavia, una volta effettuate le stampe, le conversioni ed gli errori impliciti del processo di stampa, hanno portato ad avere delle patch non perfettamente distribuite come nella teoria. In figura 3, è possibile vedere i grafici dei risultati, proiettando le misure delle patch sui piani L^*a^* , L^*b^* e a^*b^* . Il simbolo di colore diverso (nero per le patch arancioni e verdi, rosso per le patch blu) rappresenta la patch target, i cerchi colorati rappresentano le patch di riferimento.

Tabella 1: Dati relativi alle patch target, nelle tre configurazioni.




Target	Configurazione #1 (arancioni)	Configurazione # 2 (blu)	Configurazione # 3 (verdi)
Colore			
RGB	199, 105, 43	42, 158, 188	49, 197, 42
Lab (photoshop)	55, 35, 50	60, -25, -25	70, -60, 60

Tabella 2: variazioni nelle 3 coordinate L*,a*,b*, e corrispondenti indici, nelle tre configurazioni identificate dai diversi colori

ΔL	Δa^*	Δb^*	Indice patch in Configuraz. #1 (arancioni)	Indice patch in Configuraz. #2 (blu)	Indice patch in Configuraz. #3 (verdi)
5	0	5	1	12	7
0	-5	5	2	2	12
0	0	0	3	18	17
0	0	-5	4	7	1
-5	-5	0	5	13	16
0	-5	0	6	19	6
0	5	5	7	1	13
5	0	0	8	16	18
-5	0	-5	9	9	2
5	0	-5	10	4	8
0	5	0	11	14	19
-5	0	5	12	8	11
5	-5	0	13	3	3
-5	0	0	14	10	14
0	0	5	15	17	4
0	-5	-5	16	5	15
5	5	0	17	11	9
-5	5	0	18	15	5
0	5	-5	19	6	10

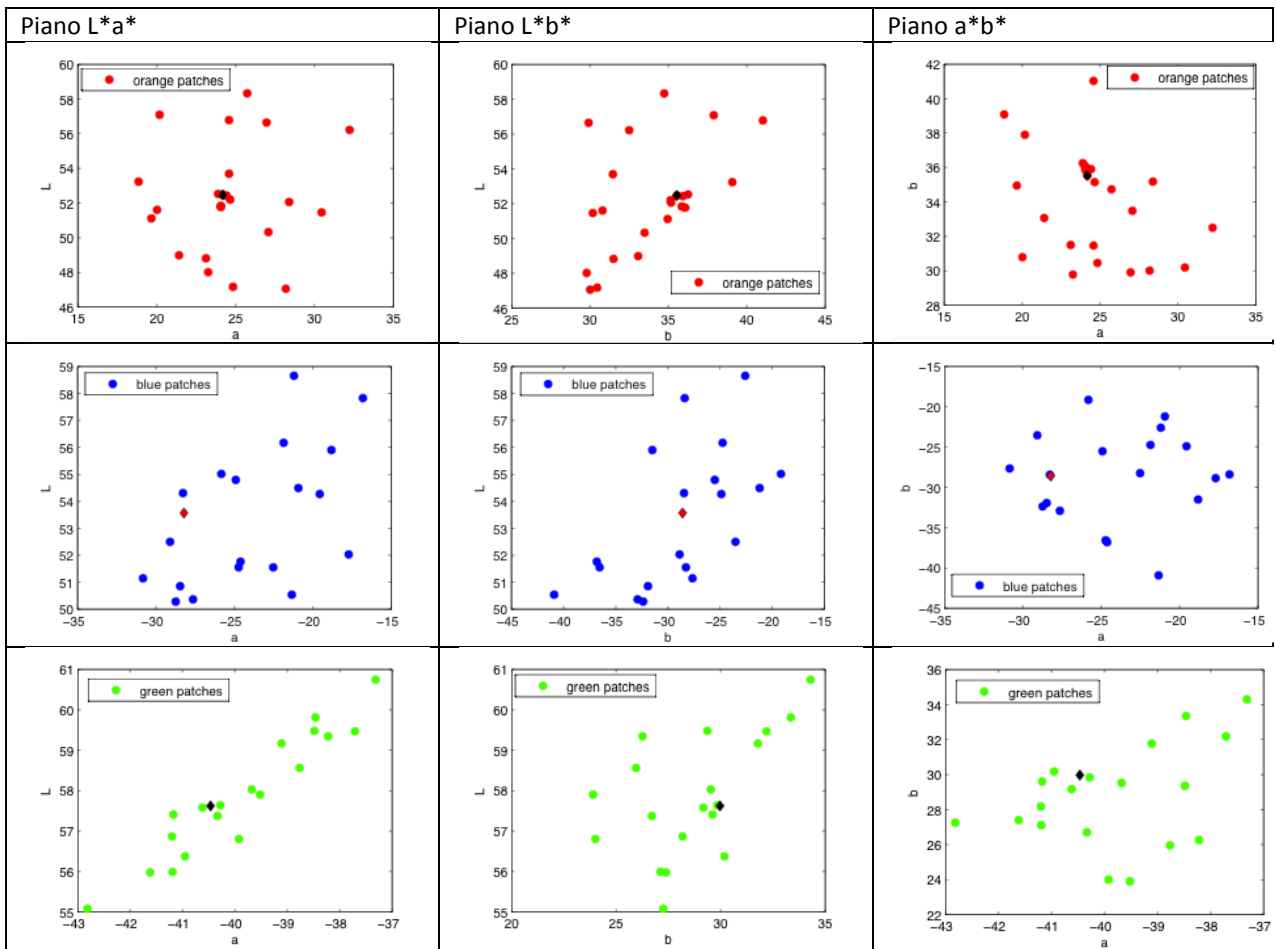


Figura 3: rappresentazione sui vari piani dello spazio CIELAB della distribuzione reale delle varie patch.

Allo stesso modo, i 4 target che dovrebbero essere identici, hanno lievi differenze di colore, come illustrato in tabella 3.

Tabella 3: ΔE_{2000} minimi e massimi per le patch stampate.

	ΔE_{2000} minimo	ΔE_{2000} massimo
Target arancioni	0.15	0.96
Target verdi	0.12	0.48
Target blu	0.27	1.43

3.2 Riduzione della durata dell'esperimento

Un'altra difficoltà consisteva nella durata dell'esperimento e nel conseguente calo di concentrazione da parte dei partecipanti, superato un certo tempo. Infatti, nell'esperimento dell'anno scorso, il partecipante aveva il compito di confrontare il target (sia dell'illusione, sia di controllo), con le patch di riferimento, per due volte (riferimento definito da numeri, in ordine sequenziale, riferimento definito da lettere, in ordine casuale), per sette sorgenti di luce.

La soluzione adottata nel presente esperimento è stata quella di usare un solo foglio per i riferimenti, con le patch distribuite in maniera casuale. È stato infatti verificato che negli esperimenti svolti nell'anno precedente, vi era una varianza minore nei risultati quando si valutavano i riferimenti casuali piuttosto che quelli in sequenza, sebbene gli utenti trovassero il compito più faticoso.

Inoltre è stata eliminata una sorgente di luce, in modo anche da utilizzare solo 3 box, ospitanti ciascuno due sorgenti. Questo espediente evita anche l'attesa necessaria nell'esperimento dell'anno scorso, quando il partecipante si trovava ad aspettare un turno, nel box contenente una sola sorgente.

4 L'esperimento

4.1 Setup dell'esperimento

Per lo svolgimento del test sono state utilizzate tre cabine di luce di dimensione 1m x 1m x 0.8 m, posizionate in modo che effettuando il test in una non sia possibile vedere l'apertura della cabina a fianco (figura 4).

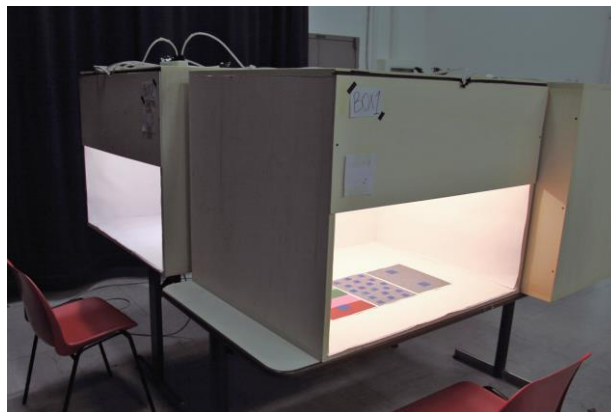


Figura 4: Setup dell'esperimento. Sul piano illuminato è possibile vedere a sinistra il foglio con l'illusione di Albers, al centro i fogli con i campioni necessari per il confronto, a destra il foglio di controllo. Durante l'esperimento solo due fogli alla volta sono presenti in cabina.

Come anticipato, sono state testate sei sorgenti luminose (descritte in tabella 4), disposte a coppie in ciascun box, e solo una alla volta accesa. È stato poi misurato l'illuminamento sul piano, al centro, in un'area di dimensione equivalente all'area coperta dai fogli di test, in 7 punti disposti come in figura 5, utilizzando uno spettrofotometro Konica Minolta CL-500. Circa l'uniformità della potenza massima delle sorgenti testate, si è cercato di uniformarla alzando ed abbassando la posizione delle lampade all'interno dei box, facendo attenzione che l'illuminamento fosse il più possibile uniforme all'interno del singolo box (tab. 5). Poiché il flusso luminoso tra le lampade in alcuni casi è molto diverso, questo non sempre è stato possibile. Per compensare una possibile non uniformità dei target, agli osservatori era permesso di muoversi liberamente variando la distanza e l'angolo di vista, senza poter muovere i target. Si ricorda inoltre che il sistema visivo è in grado in parte di compensare queste differenze grazie ai suoi meccanismi di adattamento alla luce e al buio, e di soppressione dei gradienti.

Tabella 4: caratteristiche delle sorgenti di luce (light source: LS) usate

	LS 1	LS 2	LS 3	LS 4	LS 5	LS 6
Potenza (Watt):	11	12	8	23	42	11
Flusso Lum. (Lumen):	650	650	345	1380	630	650
CCT Dichiarato(Kelvin):	6400	2700	2700	6400	2700	2700
CCT Effettivo (Kelvin):	6336	2667	3156	6790	2695	2739
Tipo:	Fluo.	LED	LED	Fluo.	Alogena	Fluo.
CRI Dichiarato:	>= 80	N/A	N/A	N/A	N/A	>= 80
CRI Effettivo:	84	82	84	81	97	82
x:	0,3145	0,4623	0,4236	0,3062	0,4574	0,4624
y:	0,3409	0,4106	0,3942	0,3368	0,4056	0,4204

Punto 1		Punto 2		Punto 3
		Punto 4		
Punto 5		Punto 6		Punto 7

Figura 5: disposizione dei 7 punti sul piano per la misurazione dell'illuminamento.

Tabella 5: Valori di illuminamento misurati nei sette punti visibili in figura 5

Punto	LS 1	LS 2	LS 3	LS 4	LS 5	LS 6
1	706	826	468	1231	490	726
2	672	1023	576	1419	476	767
3	589	959	453	1441	538	673
4	714	1023	581	1425	465	750
5	661	795	448	1161	465	677
6	682	967	534	1344	464	718
7	581	908	422	1363	509	638
E medio	657.9	928.7	497.4	1340.6	486.7	707
Emin/Emax	0.814	0.777	0.726	0.806	0.863	0.832
Emax-Emin	133	228	159	280	74	129

4.2 Svolgimento dell'esperienza

All'interno di ciascun box sono disposti due fogli:

- A sinistra: nella prima parte dell'esperienza vi era il foglio della configurazione illusoria (Albers) con i campioni target, oggetto del test. Nella seconda parte il foglio di controllo.
- A destra: foglio con i campioni di riferimento, con cui confrontare i target.

Agli utenti è stato chiesto di osservare il target posto nella parte alta del foglio a sinistra, confrontarlo con i riferimenti posti a destra e cercare tra questi, quello che si avvicinava maggiormente come apparenza; poi il confronto veniva effettuato tra il target nella parte bassa del foglio e i riferimenti. In seguito, il foglio con i target sulle configurazioni illusorie veniva sostituito con il foglio dei target di controllo, stampati su sfondo neutro e la stessa operazione veniva ripetuta con le nuove patch, trascrivendo le scelte su un apposito questionario.

Osservati i campioni sotto la prima sorgente di luce, questa veniva spenta, e si accendeva la seconda nello stesso box (alogeno o led, tale da non richiedere un lungo tempo di riscaldamento), si chiedeva all'utente di aspettare un paio di minuti per permettere al proprio sistema visivo di adattarsi, e successivamente si ripeteva il test.

Queste operazioni sono ripetute tre volte, una per ogni box: una volta eseguito il test sulle due sorgenti contenute in una cabina, l'utente, aiutato da un assistente sempre presente, si spostava nel secondo box, con gli stessi fogli, e ripeteva di nuovo il test, fino al completamento dell'intero esperimento con sei sorgenti di luce.

La durata del test per valutare una singola configurazione illusoria, per le sei sorgenti di luce, era di circa 15-20 minuti. Per questo motivo, i partecipanti venivano suddivisi in tre gruppi: alcuni eseguivano il test solo su una configurazione di colori, altri su due, e l'ultimo gruppo su tutte e tre. L'assegnamento ad un gruppo

o ad un altro dipendeva dalla disponibilità dichiarata dal partecipante. Chiaramente, un utente selezionato per compiere tutti e tre i test, poteva concludere dopo uno o due, in caso avesse voluto. Ciò per evitare il rischio che partecipanti frettolosi dessero risposte veloci, senza prestare la dovuta attenzione al test in corso.

4.3 Analisi dei risultati

In totale hanno partecipato al test 38 persone, con una età compresa tra i 19 a 69 anni, e una media pari a 23.6 anni. Ognuno dei tre colori è stato testato da 19 persone. In particolare, 8 persone hanno svolto il test su tutti e tre i colori, 2 persone su due colori e le restanti 28 hanno fatto l'esperimento su un solo colore. L'analisi dei risultati mira a capire se lo shift medio dell'apparenza per ciascuno dei quattro target, resta costante al variare della sorgente di luce. Come accennato nell'introduzione, se l'utilizzo di sorgenti di luce diversa producesse una variazione globale della resa cromatica, lo shift dell'apparenza nelle due patch viste sulle configurazione illusoria, dovrebbe rimanere sostanzialmente costante sotto tutte le sorgenti di luce o comunque con una varianza paragonabile a quella delle due patch uguali osservate su sfondo neutro. Al contrario, se variando la sorgente di luce, l'effetto della configurazione visiva illusoria produce una varianza maggiore, significa che il contesto ha un ruolo aggiuntivo al cambio dell'illuminante nella generazione dell'apparenza.

Per analizzare i dati, è stato utilizzato lo spazio colore CIELAB, dove i colori sono rappresentati su assi opposti: L^* indica la chiarezza, 0 equivale a nero e 100 equivale a bianco, a^* e b^* indicano la cromaticità, in particolare a^* positivo indica il rosso/magenta mentre il negativo indica il verde/blu, mentre b^* positivo indica il giallo e il negativo il blu. In figura 6 è riportato uno schema semplificato del piano a^*, b^* .

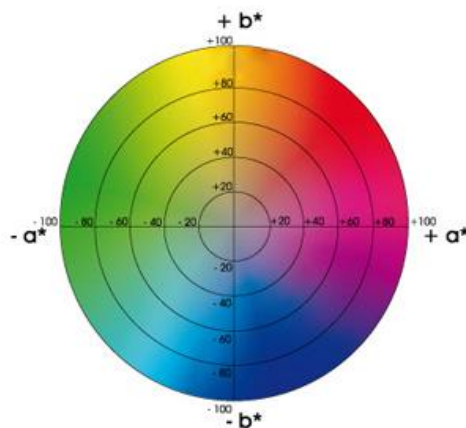


Figura 6: rappresentazione del piano a^*b^* dello spazio CIELAB.

Per ogni patch sotto esame è stata calcolata la media di tutte le patch scelte dai vari osservatori, nello spazio CIELAB. Tale valore rappresenta l'apparenza media della singola patch per un determinato illuminante.

Di seguito vengono mostrati i risultati divisi per le tre configurazioni di colore. Per avere dei valori numerici confrontabili, si è proceduto ad analizzare i dati nel seguente modo.

- Per ogni sorgente di luce è stato calcolato lo shift (spostamento nello spazio CIELAB dell'apparenza media rispetto al colore originale) delle quattro patch target (le due nella configurazione illusoria e le due su sfondo neutro).
- Sono state calcolate e riportate le deviazioni standard di un singolo asse (L^* , a^* , b^*) tra gli spostamenti osservati sotto le sei sorgenti di luce.
- Sono poi state calcolate e riportate le medie delle deviazioni standard sul piano cromatico a^*, b^*

- Infine sono state calcolate e riportate le medie delle deviazioni standard sui tre canali L*, a* e b*.

Le deviazioni standard dicono quanto si disperdono le misure, ovvero permettono di stimarne la variabilità. Una deviazione standard piccola significa che i dati sono più raccolti, una deviazione standard alta significa che i dati sono più dispersi. Calcolare la deviazione standard quindi significa calcolare la dispersione dello shift dell'apparenza quando il target è osservato nel contesto o fuori dal contesto.

4.4 Patch target di colore arancione

In tabella 6 sono riportati: il numero identificativo delle patch, il numero di occorrenze (prima parentesi) e la relativa percentuale (seconda parentesi, solo per la prima scelta) per le tre patch maggiormente scelte dai partecipanti, per i quattro target e sotto le diverse sorgenti luminose. La tabella è utile per capire quanto emerge una scelta condivisa. Mediamente, il numero di occorrenze per la prima scelta è 7.04 su 19 (pari al 37% dei partecipanti).

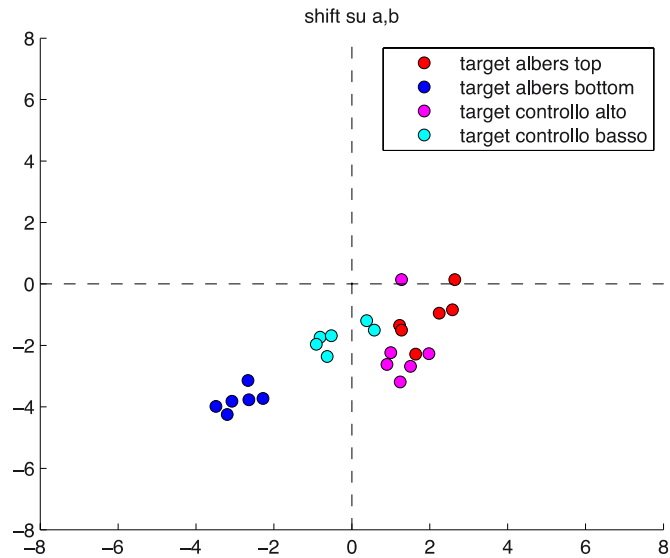
In figura 7 è rappresentato, sugli assi a* e b*, lo shift di tutte e 4 le patch target arancioni, osservate sotto le sei sorgenti luminose.

Il grafico ci permette di affermare che le patch su sfondo blu sono percepite più rosse e più gialle (Albers top), mentre quelle su sfondo arancione (Albers bottom) vengono percepite più verdi e più blu (effetto di contrasto simultaneo cromatico) di quello che realmente sono. Le patch di controllo, dovrebbero attestarsi intorno allo zero, tuttavia, c'è un leggero spostamento verso l'asse b negativo e vengono percepite più azzurre. Gli spostamenti sono riportati anche in forma di grafico a barre, nella figura 8, separatamente per i 3 assi L*, a* e b*.

Tabella 6: per ogni sorgente di luce e ogni target sono riportate le tre patch di riferimento con il maggior numero di occorrenze (tra parentesi)

Sorgente	Albers top	Albers bottom	Controllo top	Controllo bottom
LS 1	4 (7)(36.8%) 1 (4) 15 (3)	16 (8) (42.1%) 5 (3) 14 (3)	4 (7) (36.8%) 15 (5) 3 (3) 7 (3)	15 (9) (47.4%) 4 (3) 7 (2) 16 (2)
LS 2	10 (5) (26.3%) 8 (4) 1 (3) 11 (3)	14 (6) (31.6%) 5 (4) 12 (4)	4 (6) (31.6%) 11 (6) 7 (4)	15 (6) (31.6%) 11 (5) 3 (2) 4 (2) 7 (2)
LS 3	4 (4) (21.1%) 8 (4) 10 (4)	16 (9) (47.4%) 12 (5) 5 (3)	4 (7) (36.8%) 7 (4) 3 (3) 11 (3)	15 (9) (47.4%) 4 (3) 11 (3)
LS 4	4 (7) (36.8%) 8 (3) 10 (2) 11 (2)	5 (6) (31.6%) 16 (5) 12 (2)	3 (5) (26.3%) 4 (5) 15 (3)	15 (12) (63.2%) 4 (2) 16 (2)
LS 5	11 (6) (31.6%) 1 (5) 10 (5)	5 (6) (31.6%) 14 (4) 16 (5)	4 (6) (31.6%) 7 (6) 3 (3) 15 (3)	15 (6) (31.6%) 7 (3) 3 (2) 4 (2) 16 (2)
LS 6	8 (6) (31.6%) 1 (3) 4 (3) 10 (3)	5 (8) (42.1 %) 14 (3) 16 (3)	4 (11) (57.9 %) 11 (3) 7 (2) 15 (2)	15 (7) (36.8%) 3 (3) 7 (3)

Lo shift nell'apparenza non ci sorprende e non è il punto indagato in questo report. Il risultato riportato è una prova del contrasto di simultaneità. Nel calcolo del CRI standard non si considerano modifiche all'apparenza dovute alla configurazione spaziale, anche se queste, in contesti naturali, sono situazioni quotidiane.



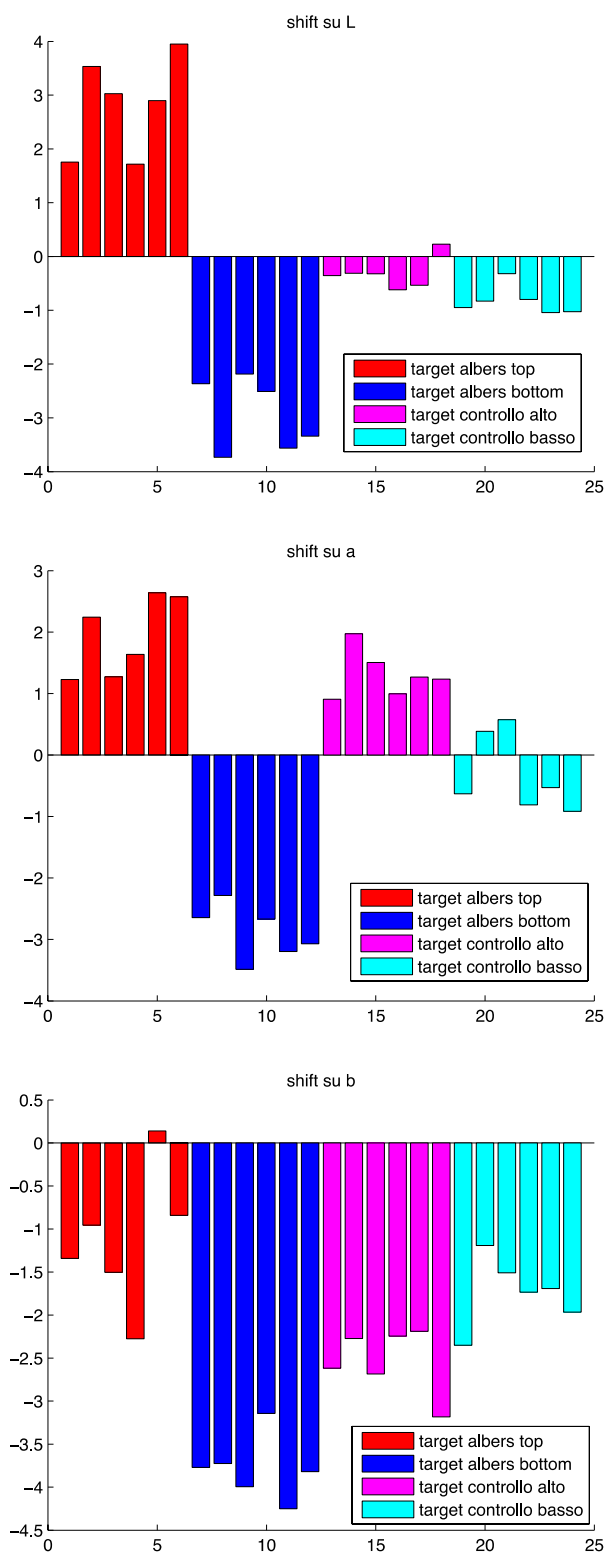


Figura 8: dall'alto verso il basso: shift su L*, a* e b*. I colori raggruppano i quattro target: rosso: Albers top, blu: Albers bottom, magenta: controllo alto (top), ciano: controllo basso (bottom) I gruppi di barre dello stesso colore rappresentano le 6 sorgenti luminose LS1-...-LS6

Ciò che più interessa è invece capire se e in che misura si disperde lo shift, cambiando la sorgente di luce.

In tabella 7 sono state calcolate le deviazioni standard separatamente sui 3 assi $L^*a^*b^*$ e poi è stata calcolata la media, sia solamente sui canali cromatici che sulle tre coordinate.

Tabella 7: Deviazioni standard tra le varie sorgenti di luce, calcolate sui tre assi, media tra le coordinate a^* e b^* , e media tra L^* , a^* , b^*

	$\sigma(L^*)$	$\sigma(a^*)$	$\sigma(b^*)$	$\mu(\sigma(a^*), \sigma(b^*))$	$\mu(\sigma(L^*), \sigma(a^*), \sigma(b^*))$
Albers top	0.92	0.64	0.80	0.72	0.79
Albers bottom	0.67	0.44	0.37	0.40	0.49
Controllo alto (top)	0.30	0.39	0.38	0.38	0.35
Controllo basso (bottom)	0.27	0.64	0.40	0.52	0.43

Come si può notare dall'ultima colonna, che è la media delle deviazioni standard su tutte e tre le coordinate, nel caso in cui le patch si trovino nel contesto (Albers), i valori sono più alti, che nel caso del controllo. Ciò significa che lo spostamento ha direzioni diverse e più variabili rispetto al variare delle sorgenti, quando la patch è osservata nel contesto. Questa differenza non è descrivibile con un indice di resa cromatica globale.

L'ipotesi iniziale, cioè che al variare della sorgente di luce, l'effetto del contesto crea una maggiore dispersione dell'apparenza, in questo caso è verificata.

4.5 Patch target di colore verde

Riportiamo in tabella 8 il numero di occorrenze per le prime tre patch scelte. Come si vede, in questo caso, i risultati sono più dispersi, rispetto al caso delle patch arancioni. Mediamente, il numero di occorrenze per la prima patch di riferimento scelta è infatti 4.42 (pari a circa il 23% dei partecipanti).

Tutti i target vengono visti più azzurri di quel che sono in realtà, come si osserva dal grafico in figura 9. In figura 10 sono riportati i risultati degli shift sotto forma di grafico a barre, per ogni asse L^* , a^* e b^* . Come si vede, in genere i target nelle configurazioni illusorie appaiono più scuri.

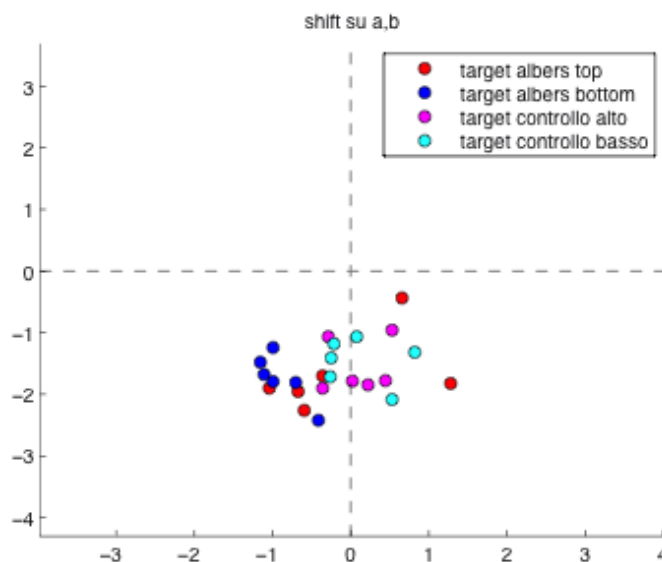
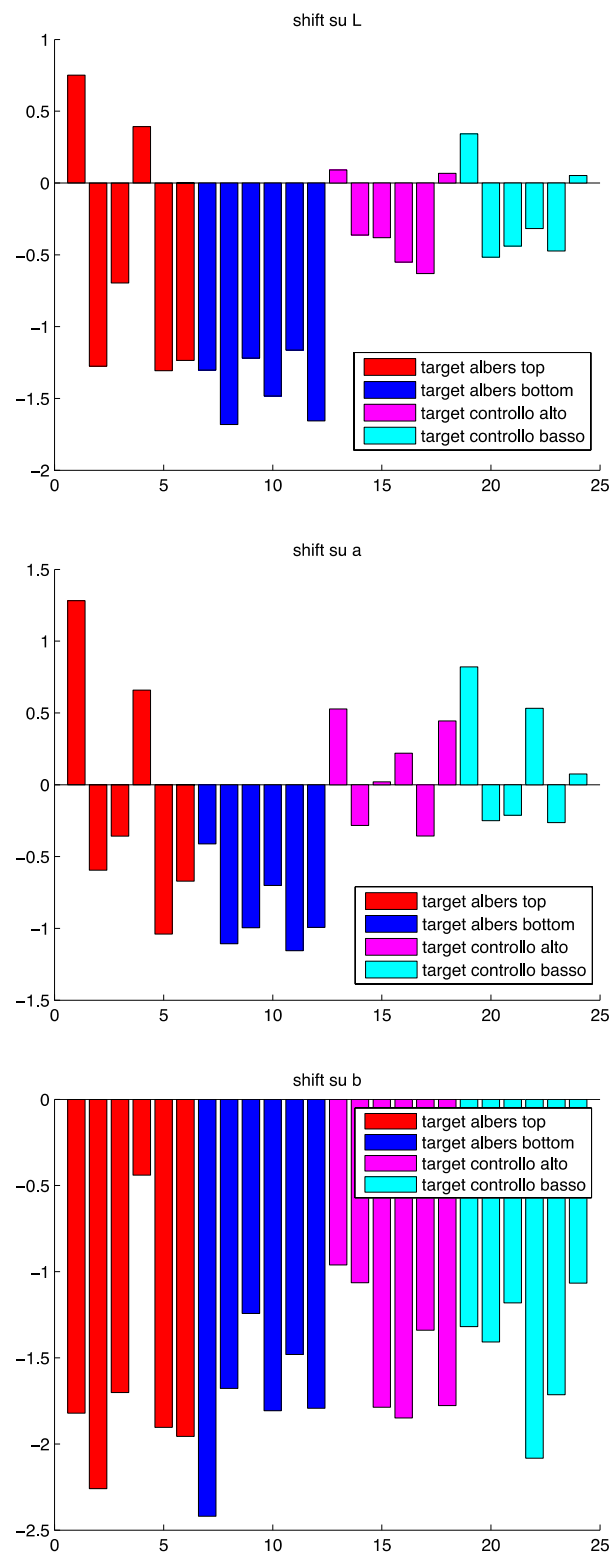


Figura 9: Shift della cromaticità delle patch target arancioni, sul diagramma a e b, rispetto le 6 sorgenti di luce

Tabella 8: per ogni sorgente di luce e ogni target sono riportate le tre patch di riferimento con il maggior numero di occorrenze (tra parentesi)

Sorgente	Albers top	Albers bottom	Controllo top	Controllo bottom
LS 1	4(4) (21.1%) 8(4) 11(2) 3(2)	16(5) (26.3%) 15(4) 14(3)	4(6) (31.6%) 10(3) 11(2) 5(2) 6(2)	10(3) (15.8%) 18(3) 4(2) 12(2) 13(2) 17(2)
LS 2	6(4) (21.1%) 12(3) 14(3) 2(2) 10(2) 15(2) 16(2)	16(7) (36.8%) 10(3) 2(2) 12(2) 14(2)	5(6) (31.6%) 1(3) 11(2)	5(3) (15.8%) 10(3) 14(3) 4(2) 11(2) 12(2)
LS 3	5(4) (21.1%) 2(3) 14(3) 10(2) 12(2)	6(4) (21.1%) 14(3) 16(3) 19(2)	10(4) (21.1%) 5(3) 1(2) 11(2) 12(2) 15(2)	14(4) (21.1%) 5(3) 10(3) 11(2)
LS 4	7(4) (21.1%) 4(3) 5(3) 1(2) 19(2)	16(5) (26.3%) 14(3) 3(2) 6(2)	5(4) (21.1%) 6(3) 12(3) 15(3) 1(2)	10(3) (15.8%) 15(3) 19(3) 6(2) 12(2)
LS 5	2(5) (26.3%) 5(4) 10(3) 14(2)	14(4) (21.1%) 15(4) 5(2) 6(2) 11(2) 19(2)	10(4) (21.1%) 2(3) 5(3) 1(2) 11(2) 12(2)	11(4) (21.1%) 16(3) 2(2) 12(2) 15(2)
LS 6	5(6) (31.6%) 4(2) 12(2) 16(2)	14(4) (21.1%) 16(4) 2(3) 10(2) 12(2) 19(2)	4(5) (26.3%) 1(3) 3(3) 10(3)	19(4) (21.1%) 4(3) 9(2) 10(2) 11(2)



**Figura 10: dall'alto verso il basso: shift su L*, a* e b*. I colori raggruppano i quattro target: rosso: Albers top, blu: Albers bottom, magenta: controllo alto (top), ciano: controllo basso (bottom)
I gruppi di barre dello stesso colore rappresentano le 6 sorgenti luminose LS1-...-LS6**

Riportiamo in tabella 9 i dati statistici relativi ai risultati. Come negli altri casi il target Albers top ha una deviazione standard maggiore.

Tabella 9: Deviazioni standard tra le varie sorgenti di luce, calcolate sui tre assi, media tra le coordinate a* e b*, media tra L*, a*, b*

	$\sigma (L^*)$	$\sigma (a^*)$	$\sigma (b^*)$	$\mu(\sigma(a^*), \sigma (b^*))$	$\mu(\sigma(L^*), \sigma(a^*), \sigma (b^*))$
Albers top	0.91	0.90	0.64	0.77	0.81
Albers bottom	0.22	0.28	0.40	0.34	0.30
Controllo alto (top)	0.31	0.37	0.39	0.38	0.36
Controllo basso (bottom)	0.35	0.46	0.38	0.42	0.39

4.6 Patch target di colore blu

Anche in questo caso riportiamo il numero di occorrenze per le prime tre patch scelte maggiormente dai partecipanti (tabella 10). Nel caso controllo top e bottom di LS1, vi erano tre patch scelte una sola volta, per questo motivo si è deciso di non inserirle in tabella. In questo caso le percentuali sono abbastanza alte, a significare che i partecipanti erano abbastanza concordi nel scegliere la patch di riferimento. Mediamente, il numero di occorrenze per la prima patch di riferimento scelta è 8.96 (pari a circa il 47% dei partecipanti).

Tabella 10: per ogni sorgente di luce e ogni target sono riportate le tre patch di riferimento con il maggior numero di occorrenze (tra parentesi)

Sorgente	Albers top	Albers bottom	Controllo top	Controllo bottom
LS 1	7 (7) (36.8%) 5 (4) 4 (2) 10 (2)	18 (11) (57.9%) 2 (2) 15 (2)	3 (10) (52.6%) 18 (6)	18 (14) (73.7%) 2 (2)
LS 2	7 (7) (36.8%) 5 (3) 2 (2) 13 (2)	18 (8) (42.1%) 10 (5) 19 (3)	2 (7) (36.8%) 18 (6) 2 (3)	18 (8) (42.1%) 2 (6) 19 (3)
LS 3	5 (10) (52.6%) 7 (4) 10 (2)	18 (11) (57.9%) 5 (2) 7 (2) 13 (2)	18 (7) (36.8%) 2 (6) 8 (2)	18 (9) (47.4%) 13 (3) 19 (3) 2 (2)
LS 4	7 (8) (42.1%) 2 (2) 5 (2) 13 (2) 19 (2)	18 (10) (52.6%) 10 (2) 16 (2)	18 (11) (57.9%) 2 (5) 3 (2)	18 (9) (47.4%) 2 (5) 15 (4)
LS 5	5 (6) (31.6%) 7 (5) 9 (3)	18 (11) (57.9%) 10 (2) 13 (2)	2 (7) (36.8%) 18 (6) 3 (2)	18 (10) (52.6%) 2 (3) 15 (2) 19 (2)
LS 6	7 (6) (31.6%) 5 (5) 13 (3)	18 (11) (57.9%) 2 (2) 5 (2)	18 (7) (36.8%) 8 (6) 3 (3)	18 (10) (52.6%) 2 (6) 15 (2)

Osserviamo in figura 11 gli spostamenti cromatici. Il target Albers top (cerchi rossi) viene visto molto più blu di quello che è in realtà, e per due sorgenti vi è uno spostamento verso a* positivo (colore tendente al viola). In particolare si tratta delle sorgenti LS 1 e LS 4, come si può vedere osservando il grafico a barre centrale di figura 12.

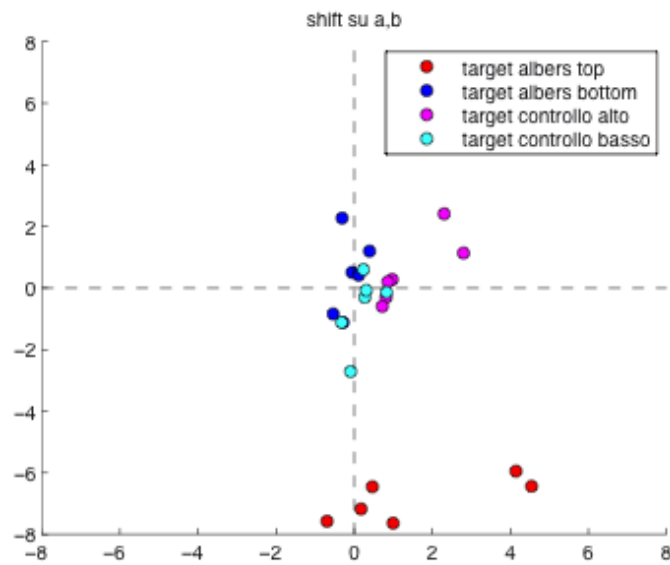


Figura 11: Shift della cromaticità delle patch target arancioni, sul diagramma a e b, rispetto le 6 sorgenti di luce

Nella tabella 11 riportiamo i dati numerici delle deviazioni standard e delle medie.

Tabella 11: Deviazioni standard tra le varie sorgenti di luce, calcolate sui tre assi, media tra le coordinate a* e b*, media tra L*, a*, b* (target di colore blu)

	$\sigma(L^*)$	$\sigma(a^*)$	$\sigma(b^*)$	$\mu(\sigma(a^*), \sigma(b^*))$	$\mu(\sigma(L^*), \sigma(a^*), \sigma(b^*))$
Albers top	0.47	2.19	0.69	1.44	1.12
Albers bottom	0.68	0.33	1.26	0.80	0.76
Controllo alto (top)	0.80	0.90	1.10	1	0.93
Controllo basso (bottom)	0.66	0.39	1.16	0.78	0.74

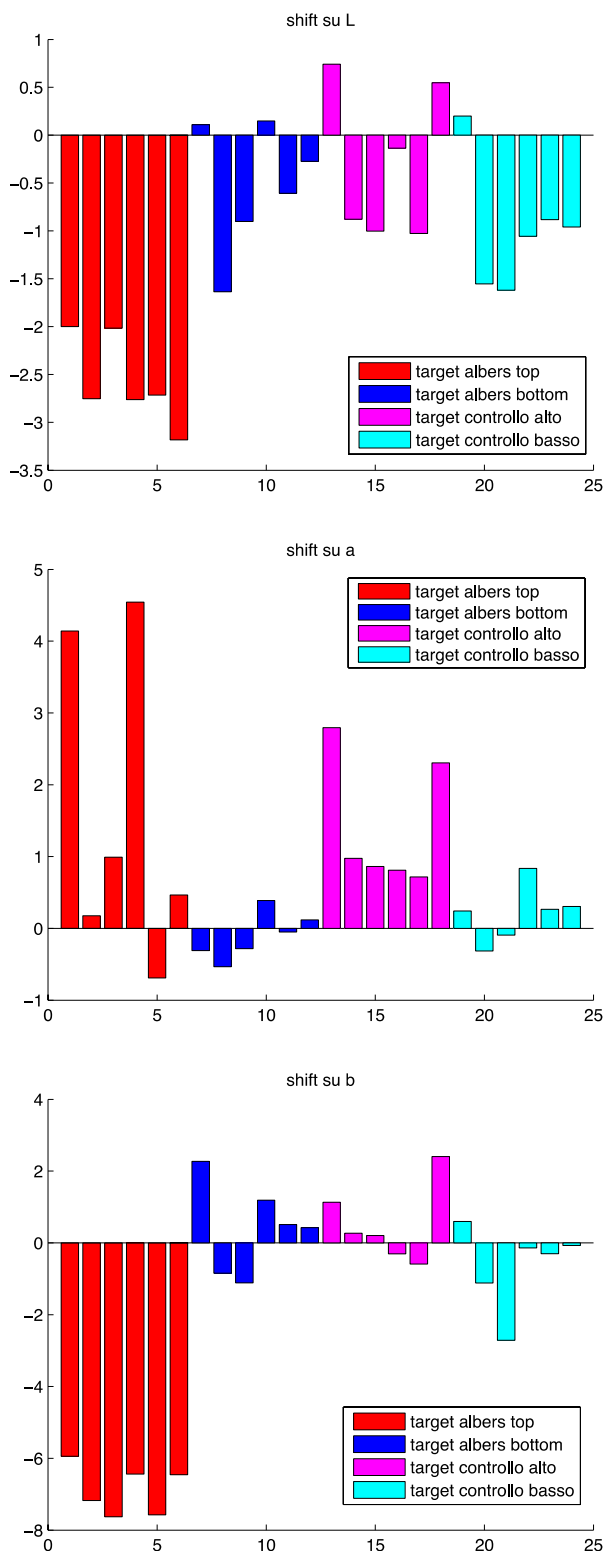


Figura 12: dall'alto verso il basso: shift su L*, a* e b*. I colori raggruppano i quattro target: rosso: Albers top, blu: Albers bottom, magenta: controllo alto (top), ciano: controllo basso (bottom). I gruppi di barre rappresentano le 6 sorgenti luminose LS1-...-LS6

5 Discussione

La tabella 12 riporta le ultime due colonne, relative alle medie delle deviazioni standard su a^* e b^* e su L^* , a^* , b^* , delle tabelle 7-9-11, in modo da poter confrontare in maniera semplice i risultati complessivi dei tre esperimenti (target di colore arancione, verde e blu). In questo modo è più facile valutare eventuali trend comuni.

Tabella 12: medie delle deviazioni standard calcolate sugli assi a^* e b^* e sui 3 assi, per tutti i casi.

	Patch target arancioni		Patch target verdi		Patch target blu	
	$\mu(\sigma(a^*), \sigma(b^*))$	$\mu(\sigma(L^*), \sigma(a^*), \sigma(b^*))$	$\mu(\sigma(a^*), \sigma(b^*))$	$\mu(\sigma(L^*), \sigma(a^*), \sigma(b^*))$	$\mu(\sigma(a^*), \sigma(b^*))$	$\mu(\sigma(L^*), \sigma(a^*), \sigma(b^*))$
Albers top	0.72	0.79	0.77	0.81	1.44	1.12
Albers bottom	0.40	0.49	0.34	0.30	0.80	0.76
Controllo alto (top)	0.38	0.35	0.38	0.36	1	0.93
Controllo basso (bottom)	0.52	0.43	0.42	0.39	0.78	0.74

È possibile osservare un effetto sistematico della patch Albers top, che è in tutte e tre le configurazioni la patch a maggior contrasto, per la quale si misura la deviazione standard più alta. Questa considerazione riportata nelle osservazioni visive di tutti i giorni potrebbe suggerire che l'effetto di variazione cromatica sui colori percepiti dovuto al cambio dell'illuminante, risulterebbe più imprevedibile per configurazioni visive ad altro contrasto.

Osserviamo inoltre come la deviazione standard, nel caso delle patch target blu, sia sensibilmente più alta (qualche volta anche il doppio), che nei casi con le patch di colore arancioni o verdi.

In generale si ha una deviazione standard maggiore nel caso delle patch su configurazione illusoria, rispetto ai casi di controllo. Questo è in linea con le ipotesi iniziali.

Abbiamo voluto verificare se la distribuzione spaziale sul foglio dei riferimenti avesse potuto in qualche modo aver influenzato le risposte dei partecipanti. A tal proposito, in figura 13 è rappresentata la somma di tutte le occorrenze scelte per i tre esperimenti con le patch di colore diverso, sia per quanto riguarda le configurazioni illusorie che i controlli, per tutte e sei le sorgenti di luce.

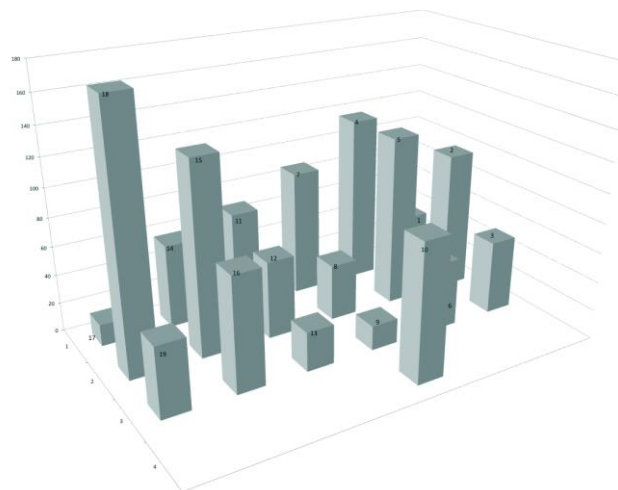


Figura 13: grafico che rappresenta la distribuzione spaziale nel foglio delle scelte dei partecipanti, sommando tutte le risposte.

La posizione delle barre rispecchia la disposizione delle patch sui fogli di scelta. Come è possibile vedere, non emerge una particolare zona del foglio in cui si concentrano le risposte, ma queste sono ben distribuite nelle varie aree.

6 Disseminazione dei risultati

Come negli anni precedenti, i risultati ottenuti in questo ambito di ricerca, sono stati divulgati presso riviste e conferenze di carattere scientifico. A settembre è stato pubblicato su rivista (*Journal of Modern Optics*) l'articolo "Experimental assessment of color-rendering indices and color appearance under varying setups" riguardante i primi esperimenti che valutavano il livello di coincidenza di alcuni tra i principali indici di resa cromatica, rispetto alla percezione del sistema visivo umano [21]. In questo lavoro già si pongono le basi per il presente esperimento: nella configurazione tridimensionale, diventa opportuno passare dalla definizione colorimetrica usata tipicamente per patch piatte e illuminate in modo uniforme, all'apparenza di colori di superficie su oggetti tridimensionali, per questo illuminati in modo non uniforme, che generano così apparenze multiple.

Il lavoro svolto è stato ulteriormente divulgato attraverso due conferenze: l'AIC (International Color Association), svoltasi a Tokyo a Maggio 2015 [22] e la sesta conferenza internazionale IBPC (International Building Physics Conference), svoltasi a Torino in Giugno [23].

È in fase di preparazione l'articolo relativo all'esperimento descritto in questo report, che verrà sottomesso a rivista internazionale.

7 Conclusioni e sviluppi futuri

Scopo del lavoro presentato è quello di valutare l'effetto del contesto visivo in riferimento a un possibile nuovo indice di resa cromatica. Infatti, gli indici di resa cromatica sviluppati finora considerano solo lo spettro della luce di test ma non la sua distribuzione spaziale nella scena.

L'apparenza del colore percepito dal nostro sistema visivo dipende dal contesto in cui viene osservato. A questo proposito risulta importante il concetto di località. Il sistema visivo umano non registra in maniera globale e oggettiva la realtà, ma la percepisce in maniera diversa a seconda delle condizioni di illuminazione e della configurazione spaziale della scena osservata. Ne segue che, nell'ipotesi di caratterizzare in anticipo i cambiamenti dell'apparenza cromatica indotti da un cambio dell'illuminante, la configurazione spaziale della scena illuminata deve essere considerata insieme al cambiamento dell'energia spettrale della luce.

Il nostro sistema visivo rielabora le informazioni per estrarne l'apparenza, adattandosi parzialmente al colore della luce e modificando i colori percepiti in funzione delle giustapposizioni presenti nella scena. Ad esempio, una superficie nera molto illuminata potrebbe risultare più chiara di una bianca poco illuminata, magari con delle dominanti cromatiche.

Il presente esperimento, terminando il lavoro cominciato l'anno scorso, conferma le ipotesi iniziali: la configurazione spaziale della scena osservata influisce sulla resa finale dei colori.

A questo riguardo proponiamo due spunti di discussione: gli attuali CRI basandosi sul solo spettro dell'illuminante non permettono distinzioni rispetto alla scena illuminata. In secondo luogo, nella maggior parte dei test dei vari CRI proposti in letteratura si considerano configurazioni a basso contrasto con luce uniformemente diffusa. Queste condizioni sono lontane da quelle reali che si incontrano nella vita di tutti i giorni. Ne deriva quindi che anche il calcolo della resa cromatica secondo le metriche per ora disponibili, è una semplificazione. Poiché l'indice CRI è un importante parametro per la valutazione della luce, in ambito domestico, ma anche industriale e medico, è necessario che tale indice sia valido in condizioni reali.

8 Riferimenti bibliografici

1. CIE 17.4-1987 "International Lighting Vocabulary", ISBN 978 3 900734 07 7.
2. 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.
3. C. Oleari (a cura di), "Misurare il colore", Hoepli, 1998.
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. D. Geisler-Moroder, A. Dur, "Color-rendering indices in global illumination methods," Journal of Electronic Imaging, vol. 18, 2009, pp. 043015-12.
7. CIE, Colour Rendering, TC 1-33 closing remarks, CIE Pubbl. No. 135/2, 1999.
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. J. Albers, "Interaction of color", 1975
21. S. Fumagalli, C. Bonanomi, A. Rizzi, "Experimental assessment of color rendering indices and color appearance under varying setups", Journal of Modern Optics, 2014, <http://dx.doi.org/10.1080/09500340.2014.952694>
22. L. Blaso, C. Bonanomi, S. Fumagalli, O. Li Rosi, A. Rizzi, "An experiment of Color Rendering with 3D Objects", AIC2015 Proceedings, 2015, pp. 787-792
23. L. Blaso, C. Bonanomi, S. Fumagalli, O. Li Rosi, A. Rizzi, "Assessing color rendering in a 3D setup", 6th international conference on Building Physics for a Sustainable Built Environment, IBPC, Torino 14-17 Giugno.

9 Curriculum scientifico del gruppo di lavoro

Il gruppo di ricerca fa capo al laboratorio MIPS del Dipartimento di Informatica dell'Università degli Studi di Milano. L'attività di ricerca del MIPS Lab pone l'uomo al centro del suo rapporto con la tecnologia, con particolare attenzione ai quattro punti principali del suo acronimo: Multimedia, Interazione, Percezione ed aspetti Social.

Al laboratorio, guidato dal prof. Alessandro Rizzi, afferiscono i professori Maria Alberta Alberti, Fiorella De Cindio, i ricercatori Stefano Valtolina e Andrea Trentini e due assegnisti di ricerca: Cristian Bonanomi, Barbara Barricelli.

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. Ricerca dal 1990 nel campo dell'imaging digitale e della visione. È particolarmente interessato agli argomenti legati alla percezione applicata alle immagini digitali. È uno dei fondatori del Gruppo del Colore italiano. È autore di più di 250 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 numerosi lavori riguardanti l'apparenza del colore, l'elaborazione di immagini, la percezione in ambienti tridimensionali e proprietà di resa visiva dei sistemi di illuminazione.