



22 SPECIAL ABSTRACT

**La discriminazione del colore con  
lenti filtranti valutata attraverso  
l'utilizzo del test CAD:  
uno studio preliminare**

—

# Introduzione

La percezione dei colori rappresenta la capacità del nostro sistema visivo di poter distinguere le differenti lunghezze d'onda dello spettro visibile che giungono ai nostri occhi. Dipende da molteplici fattori tra cui la luce che illumina l'oggetto osservato, le caratteristiche dell'oggetto illuminato e quelle del sistema visivo dell'osservatore.

Per gli esseri umani la percezione del colore viene descritta dalla teoria del tristimolo, che sostiene che siano presenti tre fotorecettori, chiamati coni di tipo S, M e L, sensibili a tre differenti regioni dello spettro visibile. I colori sono così associati a differenti percentuali di stimolazione di queste tre tipologie di coni.

Può accadere che ci siano delle alterazioni della percezione cromatica dovute a problematiche genetiche o patologiche. Conoscere i limiti di discriminazione risulta molto importante per molteplici motivi, in primo luogo per le possibili ricadute nella vita quotidiana e professionale. È anche un modo per poter fare diagnosi preventiva di tipo non invasivo di determinate malattie (come per esempio glaucoma, degenerazione maculare legata all'età, diabete e morbo di Alzheimer) correlate a questo aspetto. Inoltre, risulta essenziale poter confermare il rispetto per gli standard di sicurezza e le linee guida in ambienti di lavoro visivamente impegnativi, dove è richiesta una buona percezione cromatica (aviazione, trasporto ferroviario e marittimo). Data la maggior diffusione di lenti oftalmiche in grado di selezionare determinate lunghezze d'onda, è infine necessario effettuare un'analisi approfondita per verificare un'eventuale influenza significativa da parte di queste lenti nella visione dei colori. È quindi di grande interesse essere in grado di prevedere accuratamente come variano le capacità di discriminazione del colore del soggetto ed è quindi indispensabile avere a disposizione test affidabili, in modo tale da studiare e comprendere quali siano le possibili ricadute che

possono presentarsi nella quotidianità, nella vita professionale e soprattutto per la salute.

Allo stato attuale esistono molteplici test sulla percezione dei colori e vari protocolli in uso corrente che sono in grado di individuare le anomalie della percezione dei colori, tra i quali si ricordano: il D-15 test, il test delle tavole di Ishihara, il City University Colour Test (CUCT) e l'anomaloscopio di Nagel. Tuttavia, tali test non hanno una adeguata sensibilità e specificità e non sempre permettono di rilevare piccole variazioni nella discriminazione dei colori del rosso/verde (RG) e giallo/blu (YB).

Recentemente è stato introdotto un nuovo strumento per la misura della percezione del colore, chiamato CAD test (Colour Assessment & Diagnosis test), che permette di effettuare un'indagine approfondita e dettagliata su numerosi aspetti a differenza dei classici test usati comunemente. È stato progettato ed è ancora oggi in fase di sviluppo presso la City University di Londra dal gruppo coordinato dal Prof. John Barbur con i quali l'Istituto Nazionale di Ottica del CNR di Firenze ha attivato una stretta collaborazione.

L'obiettivo principale di questo lavoro di tesi è stato quello di valutare come varia la discriminazione del colore con l'utilizzo di lenti filtranti attraverso l'utilizzo del nuovo CAD test. In particolare, questo progetto è uno studio preliminare finalizzato ad ottenere per la prima volta una valutazione dell'effetto che le lenti filtranti hanno sulla percezione dei colori, in modo tale da verificare l'eventuale idoneità da parte del CAD test per una misura di questo tipo.

I risultati ottenuti da questo lavoro di tesi confermano questa ipotesi e sono stati condivisi con gli sviluppatori del software CAD, interessati al nostro progetto, con i quali vi è stato un confronto costante e questo ha permesso di contribuire al processo di ottimizzazione del CAD test.

## Materiali e metodi

Il CAD test consiste nel rilevamento della soglia minima di percezione del colore, è basato su risultati di studi sul mascheramento che hanno rivelato come l'uso dei segnali di colore possa essere isolato utilizzando il rumore dinamico del contrasto della luminanza [1],[2].

Il test prevede l'utilizzo di un monitor calibrato, una tastiera ed un computer sul quale viene installato il software CAD (Fig.1). Sul monitor vengono proiettati stimoli colorati, sullo sfondo caratterizzato da rumore dinamico del contrasto di luminanza, Gli stimoli si muovono lungo ciascuna delle direzioni diagonali (Fig. 2b), selezionate per garantire una classificazione automatica della classe di deficienza coinvolta, nonché stime adeguate di entrambe le soglie dei canali cromatici RG e YB [3], [4].



Figura 1: Apparato strumentale: computer, monitor con display calibrato e tastiera.

Il compito del soggetto è quello di indicare la direzione del movimento dello stimolo definito dal colore utilizzando uno dei 4 pulsanti rossi della tastiera. Sullo schermo del computer appare una finestra, dove inizialmente lo sperimentatore inserisce i dati del soggetto e successivamente viene scelta la modalità di esecuzione del test (full, deutan, protan o tritan) in base al deficit che si vuole analizzare. Dopo aver eseguito il test il software rilascia i valori delle soglie di sensibilità cromatica RG e YB espressi in unità CAD e un grafico in cui è presente un'ellisse costruita sul diagramma di cromaticità

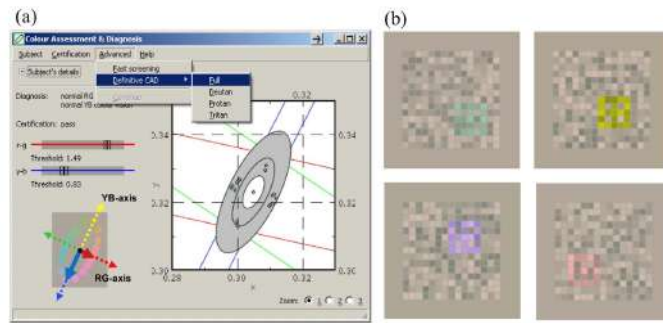


Figura 2: Fig a: schermata che compare quando viene avviato il software CAD. Fig b: stimoli colorati che si muovono lungo le diagonali dello sfondo caratterizzato da rumore dinamico del contrasto di luminanza.

CIE xy 1931, che rappresenta i limiti oltre i quali il soggetto non può essere considerato un osservatore CAD standard normale (SN), tipico osservatore medio (Fig.2a).

Per questo studio sono state scelte due tipologie di lenti filtranti (Fig.3):

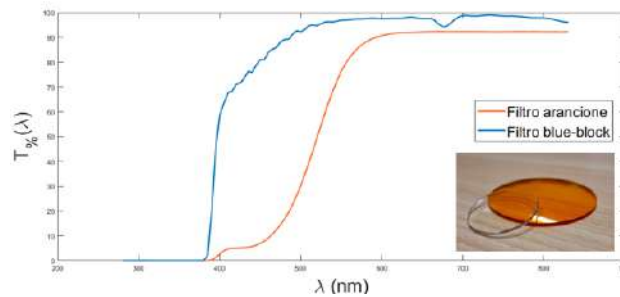


Figura 3: Spettro di trasmittanza delle due lenti filtranti utilizzate.  $T(\lambda)$  indica la trasmittanza espressa in percentuale (%) e  $\lambda$  la lunghezza d'onda espressa in nanometri (nm).

- una lente blue-block: campione di Essilor con trattamento Crizal Previncia di potere nullo,  $n = 1,67$ ;
- una lente filtrante arancione: campione ML Filter neutro, di potere nullo,  $\lambda = 511nm$ .

## Protocollo sperimentale

Trattandosi della prima volta in cui il test è utilizzato a questo fine, siamo di fronte inevitabilmente ad un lavoro preliminare. Sono stati esaminati

10 soggetti di età compresa tra i 19 e i 25 anni, per ognuno dei quali si è proceduto come descritto di seguito. Inizialmente è stato eseguito un test optometrico per individuare l'occhio dominante, questo perché il test doveva essere effettuato in monoculare. Il soggetto è stato poi posto a 1.40 metri di distanza dallo schermo calibrato, facendo indossare l'occhialino di prova. Successivamente, è stato lanciato il software CAD, inseriti i dati della persona da analizzare ed infine è stata spenta la luce. Si è proceduto con il test di prova e, una volta che l'esaminato era entrato in sintonia con la modalità di svolgimento del test, è iniziata l'acquisizione dei dati. Il soggetto ha svolto il test CAD in tre condizioni: con la lente filtrante blue-block, con la lente filtrante arancione e con la lente non filtrante. Quest'ultima, nel caso di ametropia corrispondeva alla lente usata per la correzione dell'occhio dominante, altrimenti non veniva inserita alcuna lente. Quando veniva completata una prova venivano presi i valori della soglia RG e della soglia YB. Successivamente veniva inserita una lente appartenente ad un'altra condizione e veniva effettuato nuovamente il test.

L'ordine di inserimento delle varie lenti filtranti è stato scelto casuale, in modo tale da non condizionare il soggetto e quindi non alterare le sue performance. Per l'esecuzione del test è stata scelta la modalità tritan, da una parte per non affaticare eccessivamente il soggetto, dati i tempi complessivi di svolgimento molto duraturi e dall'altra in considerazione delle lenti utilizzate e della previsione dei risultati attesi. Tale scelta ha permesso di ottenere un periodo complessivo effettivo di tre ore circa per ciascun soggetto per conseguire il CAD test con le tre tipologie di lenti. Attraverso la modalità tritan abbiamo focalizzato l'attenzione sugli effetti delle lenti sull'asse YB, ottenendo comunque dati relativi all'asse RG.

## Presentazione dei risultati

Uno degli aspetti fondamentali che ha portato alla scelta dell'utilizzo del test CAD in questo progetto di tesi e che lo contraddistingue dai classici test per la percezione del colore è la maggior sensibilità. Data la miglior precisione nella misura effettuata, un'eventuale influenza dovuta alle lenti filtranti nella discriminazione del colore è da considerare attendibile.

I valori di soglia trovati e le deviazioni standard ricavate senza l'utilizzo di alcuna lente filtrante risultano in linea con precedenti lavori svolti con la medesima metodologia [5] [1]. Alla luce dei risultati ottenuti, i soggetti esaminati possono essere considerati degli osservatori SN con una visione tricromatica normale.

### Il canale YB

L'attenzione è stata rivolta maggiormente ai valori di soglia relativi all'asse YB, dato che è stata scelta la modalità tritan per l'esecuzione del test CAD e dato che è su questo asse che le lenti filtranti dovrebbero avere un maggiore effetto. I risultati ottenuti (Fig.4) rivelano un comportamento differente nell'utilizzo delle due lenti filtranti.

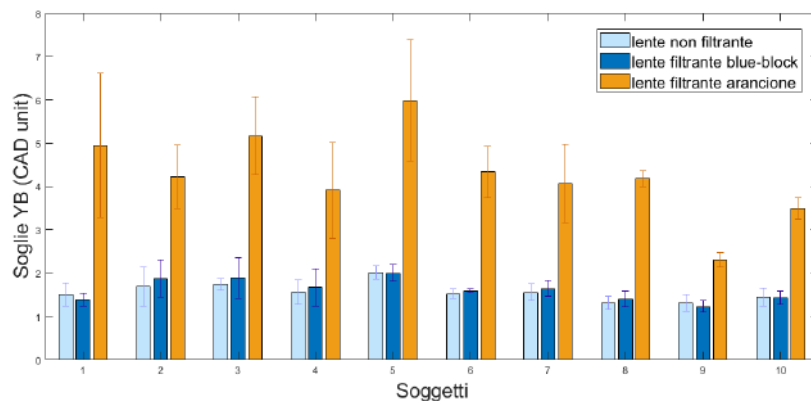


Figura 4: Diagramma a barre dei valori di soglia ottenuti dalle varie misure sul canale YB con le tre tipologie di lenti filtranti: per ogni tipologia di lente sono presenti le barre d'errore ricavate attraverso la deviazione standard.

Per poter verificare quanto le lenti filtranti abbiano influenzato la visione del colore sono stati ricavati dei grafici di correlazione, usando il software MatLab. È stato così possibile valutare quale lente filtrante incidesse maggiormente e la precisione della misura effettuata. Confrontando i valori di soglia ottenuti con la lente filtrante blue-block in funzione dei valori di soglia ottenuti senza l'utilizzo di alcuna lente, ricavando il miglior fit lineare calcolato con il metodo dei minimi quadrati, si notano differenze che non possono essere considerate statisticamente significative per la percezione del colore. Per i valori di soglia ottenuti con la lente filtrante arancione si notano differenze statisticamente significative. Rispetto al caso precedente, nel calcolo del miglior fit lineare la retta è risultata piuttosto inclinata rispetto alla retta  $y=x$ . Per questo, è possibile affermare che la lente filtrante arancione ha influenzato maggiormente la percezione dei colori. Infine, sono stati confrontati i valori di soglia delle due lenti filtranti, per verificare quanto la lente filtrante blue-block si comporti similmente alla lente non filtrante. Confrontando questi ultimi due casi di correlazione si nota una minor inclinazione nell'ultimo caso, dovuta probabilmente ad una minima differenza della visione dei colori per il trattamento della lente blue-block, ma non statisticamente significativa. Quindi è possibile sostenere che la lente filtrante blue-block si comporti similmente alla lente non filtrante, entro le incertezze di misura.

## **Il canale RG**

Per quanto riguarda i valori di soglia relativi all'asse RG (Fig5) non si nota una significativa differenza, tanto è vero che risultano essere molto simili tra di loro. Come nel caso precedente, i risultati della lente filtrante blue-block risultano poco differenti dai risultati della lente non filtrante. Anche il filtro arancione, in tal caso, sembra comportarsi similmente alle altre due



tipologie di lenti.

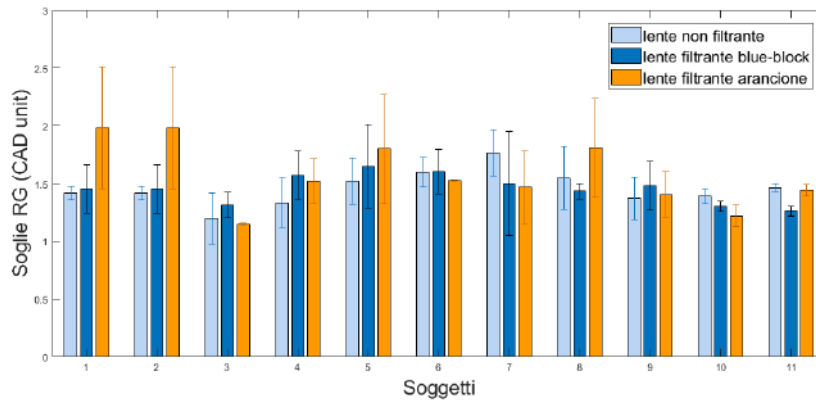


Figura 5: Diagramma a barre dei valori di soglia ottenuti dalle varie misure sul canale RG con le tre tipologie di lenti filtranti: per ogni tipologia di lente sono presenti le barre d'errore ricavate attraverso la deviazione standard.

Questo comportamento può essere giustificato poichè le lunghezze d'onda tagliate dalle lenti testate sono soprattutto quelle relative all'asse YB. Inoltre la modalità tritan, impostata all'inizio dell'esecuzione del test, fornisce un numero di dati delle soglie del canale RG inferiore, in quanto si concentra soprattutto sul canale YB. Quindi differenze molto piccole potrebbero non essere rilevate. Pertanto, non è possibile mettere in evidenza una probabile influenza statisticamente significativa delle lenti filtranti nella discriminazione del colore sull'asse RG. Le deviazioni standard possono apparire grandi, bisogna però considerare il fatto che il test complessivo copre un intervallo di tempo molto lungo. Per questo, si ritiene che la durata del test possa aver causato un affaticamento con conseguente riduzione dell'attenzione da parte dei soggetti in esame, che ha portato ad un incremento dell'errore sperimentale, visibile in entrambe le figure sopra riportate.

I risultati ottenuti sono stati confermati attraverso un'analisi statistica, prima effettuando il test ANOVA e successivamente ottenendo analoghe risposte con il test  $t$  di Student.

## Conclusioni

Gli effetti attesi sono stati confermati nell'analisi dei dati raccolti nei soggetti presi in considerazione. I dati ottenuti confermano le aspettative attese, abbiamo verificato, come è possibile notare dai dati, che l'effetto di alterazione della lente blue-block risulta non statisticamente significativo per la percezione dei colori. Invece, per quanto riguarda l'utilizzo della lente filtrante arancione i dati confermano che il soggetto percepisce i colori in maniera alterata, in quanto si notano differenze a livello di percezione cromatica, in particolar modo sull'asse preso in considerazione. Tale risultato fornisce indicazioni evidenti su quanto una lente ad alto filtraggio, come quella scelta in esame, possa influenzare la discriminazione dei colori. Successivamente i risultati ottenuti sono stati confermati attraverso un'analisi statistica con il test ANOVA e il test  $t$  di Student. Pertanto, i risultati ottenuti hanno dimostrato la validità delle nostre aspettative legate alla percezione del colore con questo tipo di lenti. Tramite questo progetto di tesi è stato possibile dimostrare per la prima volta che il CAD test risulta essere utile anche per valutare la percezione del colore tramite le lenti filtranti.

Questo risultato è stato considerato di particolare interesse anche da parte dei ricercatori della City University, con i quali ho collaborato durante lo sviluppo di questo progetto a conferma dell'efficacia e dell'importanza del lavoro ad oggi svolto.

Questo ci consentirà da un lato di arricchire le informazioni che permetteranno di approfondire lo sviluppo del test e dall'altro lato di progettare nuove prospettive di indagine ed integrazione con nuove linee di ricerca in questo ambito. Trattandosi di uno studio preliminare si pensa ad un maggior coinvolgimento da parte di Enti che lavorano su tali ambiti grazie anche alla collaborazione dei laboratori che fanno parte del network internaziona-

le, in modo tale da rendere partecipe un maggior numero di osservatori, ottenendo una maggior validità dei risultati da noi trovati.

In particolare si pensa ad un'ottimizzazione del software CAD per poter simulare le lenti filtranti, come quelle da noi usate in laboratorio, direttamente sul monitor calibrato. Questo permetterebbe di migliorare le condizioni di svolgimento del test, consentendone una più semplice e pratica erogazione e quindi più capillare diffusione. Semplificherebbe, inoltre, la valutazione di eventuali influenze di lenti filtranti tipicamente portate dai soggetti ogni giorno, si pensi ad esempio ai dispositivi di protezione individuale.

I temi da noi trattati sono molto studiati nel nostro settore, ma si ritiene necessario attivare una campagna informativa di sensibilizzazione per comunicare a tutta la società l'importanza dell'analisi e diagnosi relativa alla percezione dei colori, soprattutto per gli effetti che questa comporta sia per la prevenzione di specifiche malattie attraverso test preventivi e non invasivi sia in ambito quotidiano e professionale.

## Riferimenti bibliografici

- [1] J. Barbur and M. Rodriguez-Carmona, “Colour vision requirements in visually demanding occupations,” *British medical bulletin*, vol. 122, no. 1, pp. 51–77, 2017.
- [2] M. Rodriguez-Carmona, B. E. Evans, and J. L. Barbur, “Color vision assessment-2: Color assessment outcomes using single and multi-test protocols,” *Color Research & Application*, vol. 46, no. 1, pp. 21–32, 2021.
- [3] J. L. Barbur and M. Rodriguez-Carmona, “Color vision changes in normal aging,” in *Handbook of Color Psychology* (A. J. Elliott, M. D. Fairchild, and A. Franklin, eds.), pp. 180–196, Cambridge University Press, 2016.
- [4] M. Rodriguez-Carmona, M. O’Neill-Biba, and J. L. Barbur, “Assessing the severity of color vision loss with implications for aviation and other occupational environments,” *Aviation, space, and environmental medicine*, vol. 83, no. 1, pp. 19–29, 2012.
- [5] J. L. Barbur, M. Rodriguez-Carmona, and B. E. Evans, “Color vision assessment-3. an efficient, two-step, color assessment protocol,” *Color Research & Application*, vol. 46, no. 1, pp. 33–45, 2021.