



**Università degli Studi di Padova**

Dipartimento di Fisica e Astronomia

**Corso di Laurea Triennale in Ottica e Optometria**

Le discromatopsie: valutazione dei filtri ColorLite.

*Relatore:* Prof. Federico Silvoni

*Laureanda:* Giulia Zanin

*Correlatore:* Mario Tenani

*Matricola:* 1102822

Anno Accademico  
2016/2017





**Università degli Studi di Padova**

Dipartimento di Fisica e Astronomia

**Corso di Laurea Triennale in Ottica e Optometria**

Le discromatopsie: valutazione dei filtri ColorLite.

*Relatore:* Prof. Federico Silvoni

*Laureanda:* Giulia Zanin

*Correlatore:* Mario Tenani

*Matricola:* 1102822

Anno Accademico  
2016/2017



# INDICE

Premessa.....	1
1. Il colore e come lo percepiamo	
1.1 Che cos'è il colore? .....	3
1.2 La luce .....	4
1.3 Dall'occhio al cervello .....	5
2. Le discromatopsie.....	10
3. Il metodo	
3.1 Ishihara test .....	16
3.2 City University Colour Vision test .....	18
3.3 Sistema ColorLite .....	21
4. I casi .....	25
Conclusione .....	31
Bibliografia e Sitografia .....	33



## PREMESSA

In questo lavoro ho cercato di valutare se i filtri per la discromatopsia portano ad un effettivo miglioramento della percezione delle sfumature dei colori nei soggetti con difetti nella visione cromatica concentrandomi sul sistema ColorLite in quanto, per me, di più facile disponibilità.

Le motivazioni che mi hanno spinto a porre l'attenzione su questo particolare tema e ad approfondirlo sono date da una precedente ricerca svolta durante quest'ultimo anno di università e dalla presenza di questo difetto in uno dei membri della mia famiglia. Le notizie dell'esistenza di lenti specifiche per la discromatopsia mi hanno stimolata a valutare la loro efficacia e a definire quindi l'obbiettivo della mia tesi. Le informazioni che ho raccolto e i dati ottenuti creano una base di partenza per lo sviluppo di ulteriori ricerche e approfondimenti in questo ambito.

La tesina ha carattere descrittivo presentando l'analisi di un numero ridotto di casi di soggetti affetti da discromatopsia, in quanto, una tesi sperimentale avrebbe richiesto un campione d'indagine più vasto, difficile da reperire dal momento che l'incidenza di tale difetto è molto ridotta. Per raggiungere il mio scopo ho presentato a sette casi campione il test di Ishihara, il City University Colour Vision test e il sistema ColorLite composto dal Color Vision test e dieci coppie di filtri per poter capire se è presente un difetto, di quale tipo e quale lente è la più adatta tenendo in considerazione la soggettività di ogni individuo. Molte informazioni riguardo alla costruzione dei filtri e al loro funzionamento sono contenute nel brevetto dell'azienda, per questo motivo mi è stato difficile analizzare tecnicamente alcune parti dell'argomento.

Essendo la discromatopsia un'anomalia della percezione del colore, nel primo capitolo ho tracciato delle generalità sul colore, sulla luce e su come uno stimolo luminoso viene trasformato in sensazione del tutto soggettiva spiegando la via che le informazioni seguono partendo dall'occhio fino ad arrivare al cervello.

Nella seconda parte ho descritto i diversi tipi di discromatopsie delineando quali possono essere le possibili cause dell'alterazione di percezione tra un soggetto e l'altro.

Nella terza parte ho definito quali test sono stati utilizzati per ricavare i dati di alcuni soggetti campione e ho cercato di descriverli al meglio in modo che siano di semplice comprensione.

Nell'ultima parte, quindi, si sono osservati i risultati dei test per ogni caso campione per valutare se i filtri in questione portano ad un benessere dell'individuo migliorando le capacità di percepire ed apprezzare le sfumature dei colori.



# 1. IL COLORE E COME LO PERCEPIAMO

## 1.1 CHE COS'E' IL COLORE?

Il colore è un fenomeno che da sempre ha suscitato l'interesse e l'attenzione di un grande numero di discipline molto eterogenee tra loro, che lo affrontano sotto aspetti e con metodologie diverse.

In arte, per esempio, per i pittori i colori sono pigmenti che permettono di creare un quadro, in fisica il colore è un aspetto dell'energia radiante, in fisiologia è una risposta del cervello e in psicologia è un fenomeno di percezione.

Il fenomeno del colore può essere analizzato sotto il profilo oggettivo, in base alle leggi chimiche, fisiche e fisiologiche e quello soggettivo, ovvero dal punto di vista psicologico e cognitivo.

Per leggi chimiche si intende la struttura molecolare, lo stato fisico e la qualità del colore in campo della pittura o dell'impiego industriale; sul piano fisico si parla delle radiazioni dello spettro elettromagnetico e dal punto di vista della fisiologia invece si spiega come l'apparato visivo riesce a ricevere il segnale luminoso e a trasformarlo in impulsi. Dal punto di vista psicologico la sensazione del colore dipende dalle emozioni, dallo stato di tensione, dalle esperienze o dalla sensibilità di un individuo rispetto ad un altro (M. Lüscher, 1976); dal punto di vista psicofisico invece ogni sensazione luminosa può essere caratterizzata da tre variabili, quali tinta o tonalità, luminosità o chiarezza e saturazione.

La tinta si riferisce a quella qualità che permette di distinguere il verde dal rosso, dal giallo, dal blu e così via e la grandezza fisica corrispondente alla tinta è la lunghezza d'onda. Si chiamano cromatici i colori che possiedono una tinta e acromatici quelli che non ce l'hanno come il bianco, il nero e il grigio. La chiarezza si riferisce a quanto il colore è chiaro o scuro, ed è legata alla quantità di luce riflessa fisicamente dalla superficie. La saturazione, invece, si riferisce a quanto il colore è vivido, intenso, o pallido, sbiadito, tecnicamente è quanto un colore si differenzia dal bianco.

Ogni colore possibile può essere descritto con precisione attraverso queste tre caratteristiche anche se non è possibile dividere il profilo oggettivo da quello soggettivo: sono esclusivisti quelli che considerano il colore semplicemente un fatto

fisico, di variazione dell'energia o della lunghezza d'onda o della frequenza dello stimolo, ma sono ugualmente esclusivisti coloro che considerano il colore come un semplice fatto psichico integrale, tanto da giungere all'affermazione: non c'è colore senza il nostro cervello (M. Maione, E. Pisano, 1965).

Il colore di una luce o di un corpo non è una proprietà intrinseca di quella luce o di quel corpo, ma è un aspetto che il nostro sistema visivo attribuisce loro, è un'esperienza soggettiva: una fiamma non è gialla, una foglia non è verde, ma noi vediamo gialla la fiamma e verde la foglia. Il colore che noi attribuiamo alla luce o agli oggetti è il risultato di un processo complesso: inizia nei nostri occhi, per azione di radiazioni di opportuna lunghezza d'onda che gli oggetti osservati ci riflettono e successivamente continua nel cervello con l'elaborazione dell'informazione ricevuta a livello della retina.

## 1.2 LA LUCE

Il colore è una caratteristica macroscopica dei corpi è il risultato di fenomeni chimici e fisici che interessano la materia a livello microscopico. Per spiegare cos'è il colore occorre studiare la luce e il processo di visione.

La luce è una radiazione elettromagnetica, un'onda che si propaga nello spazio ad altissima velocità e ha tre caratteristiche principali: lunghezza, frequenza e ampiezza. Ai fini della visione dei colori, l'ampiezza dell'onda influisce sull'intensità luminosa dello stimolo elaborato dal cervello, mentre la lunghezza dell'onda influenza la tonalità del colore percepito.

Newton nel 1666 dimostrò che la luce che ci appare bianca non è monocromatica, ma è la somma di una serie di raggi, ciascuno dei quali ha una differente lunghezza d'onda. Dopo vari esperimenti giunse a formulare la teoria corpuscolare dove spiegava che i corpuscoli viaggiando in linea retta producevano dei raggi e quando questi colpivano gli occhi davano la sensazione della luce. Newton giunse inoltre alla conclusione che il colore degli oggetti che ci circondano è legato al modo di reagire delle superfici alla luce ed escluse del tutto la possibilità che al buio vi potessero essere dei colori, in quanto questi sono inscindibilmente legati alla presenza della luce.

La teoria corpuscolare metteva in evidenza che ogni colore doveva corrispondere ad una determinata frequenza delle radiazioni. Il problema che l'occhio deve risolvere è quello di trasmettere per via nervosa una risposta differente per ogni frequenza. Questo problema venne affrontato da Young che utilizzò la teoria ondulatoria formulata da Huygens nel 1678. Partendo dalla conoscenza dei tre colori primari (rosso, verde e blu) dalla cui mescolanza ottica si formano tutti gli altri colori, provò a cercare la spiegazione di questo non nelle proprietà della luce, ma in quelle dell'occhio umano, così affermò infine che dovevano esistere tre tipi di recettori ognuno sensibile ad uno dei tre colori primari che lui stabilì essere il verde, il rosso e il blu in modo che la visione delle diverse sfumature di colori veniva generata dall'azione combinata di questi tre recettori.

Lo spettro elettromagnetico è costituito dall'insieme delle radiazioni e comprende l'intera gamma delle lunghezze d'onda esistenti in natura, e nel 1865 Maxwell scoprì che all'interno dello spettro elettromagnetico, solo una piccolissima porzione appartiene allo spettro visibile, cioè all'insieme delle lunghezze d'onda a cui l'occhio umano è sensibile e che sono alla base della percezione dei colori. Le differenze individuali possono far variare leggermente l'ampiezza dello spettro visibile. Approssimativamente, esso si pone tra i 380 e i 780 nanometri: alla lunghezza d'onda minore corrisponde la gamma cromatica del blu-violetto mentre a quella maggiore corrisponde invece la gamma dei rossi.

### 1.3 DALL'OCCHIO AL CERVELLO

L'interazione tra l'organismo e l'ambiente è largamente basata sull'impiego degli stimoli luminosi ed è certo quindi che la sensazione luminosa è innescata dai fotoni che cadono sulla retina. La retina è la membrana che ricopre internamente la cavità oculare ed è composta da nove strati: i più importanti fra di essi sono quelli dei coni e bastoncelli, delle cellule bipolari e delle cellule gangliari.

I coni e i bastoncelli, che contengono il pigmento fotosensibile, sono le cellule recettrici e poggiano sullo strato pigmentato della coroide più adiacente alla retina. Si calcola che nella retina umana siano presenti circa 7 milioni di coni e 120 milioni di bastoncelli e la concentrazione dei primi è massima nella fovea, mentre i bastoncelli raggiungono la maggiore densità a circa 20 gradi dalla fovea (M. G.

Bucci, 1993). I prolungamenti dei fotorecettori terminano in sinapsi sugli apici delle cellule bipolari che si connettono a loro volta, sempre mediante sinapsi, con le cellule gangliari. Le fibre che si dipartono da queste ultime, riunendosi, formano il nervo ottico, che porta tutti gli impulsi nervosi prodotti dalle cellule sensoriali ai centri visivi situati nei lobi occipitali del cervello. In tutta la superficie della retina più recettori convergono, attraverso le cellule bipolari, su singole cellule gangliari. Fa eccezione la fovea, che contiene solo coni, dove ogni cono si connette con una sola cellula bipolare e successivamente questa ad una singola cellula gangliare: pertanto ogni cono della fovea è collegato con una sola fibra del nervo ottico.

I fotorecettori sono pigmenti eccitabili dalla luce e quindi sono i responsabili della trasformazione dal segnale luminoso al segnale elettrico. I coni sono adatti a ricevere una luminosità elevata e sono predisposti alla visione dei colori, mentre i bastoncelli hanno un'elevata capacità di percepire intensità minime di luce ed è responsabile della visione corpuscolare, notturna o scotopica. Questi cromofori sono costituiti da un'aldeide della vitamina A associata all'opsina, di cui vi sono quattro tipi: tre varietà di iodopsina, nei coni, e una rodopsina, nei bastoncelli. Questi pigmenti rispondono in maniera differenziata a tutta la gamma dello spettro visibile. La rodopsina ha una sensibilità fotochimica maggiore della iodopsina, pertanto la soglia di stimolazione dei bastoncelli è più bassa di quella dei coni e la sensibilità spettrale è particolarmente elevata nella zona del verde e va degradando per le lunghezze d'onda più lunghe e più corte. La iodopsina per alcuni aspetti si comporta in maniera diversa dalla rodopsina, sia per quanto riguarda dell'intensità della luce che la colpisce, sia per la maggiore velocità della rigenerazione della sostanza fotodinamica. Infatti, al contrario della rodopsina, la iodopsina ha scarsa sensibilità per le luci di bassa intensità. La sua massima sensibilità spettrale, in piena luce, si riscontra in prossimità del giallo. A differenza dei bastoncelli, la sensibilità cromatica dei coni si estende anche alla zona del rosso. Esistono infatti tre tipi di iodopsina caratterizzati da spettri di assorbimento diversi. I tre tipi di coni, che contengono ognuno un tipo di opsina diverso, si distinguono quindi sulla base della loro diversa sensibilità a tre diverse lunghezze d'onda dello spettro di luce visibile (che corrispondono all'incirca ai colori blu, verde, rosso) e possono rispondere solo nei termini del tipo di impulsi a cui sono specificamente deputati.

Tuttavia ciò che vediamo non sono le distribuzioni dei fotoni nelle immagini sulla retina, ma ciò che risulta dall'elaborazione di queste immagini a livello del sistema nervoso centrale.

Il processo formativo della visione ha inizio nelle sostanze contenute nei coni e nei bastoncelli, le quali, colpite dalla luce incidente, subiscono un certo numero di reazioni chimiche che le trasformano. Ogni reazione produce una serie di modificazioni del potenziale elettrico delle fibre nervose, il quale viene convertito in sensazioni di luce e di colore nei centri visivi del cervello.

Le fibre del nervo ottico provenienti dalle metà nasali di ciascuna retina si incrociano fra loro nel chiasma e si dirigono al corpo genicolato laterale e quindi alla corteccia cerebrale. A causa di questo incrocio, le fibre provenienti dall'occhio destro vanno a finire nell'emisfero sinistro e viceversa. Le fibre del nervo ottico provenienti dalle metà temporali di ciascuna retina si dirigono anch'esse al corpo genicolato laterale prima e alla corteccia cerebrale poi, ma senza incrocio nel chiasma. In questo caso quindi le fibre provenienti dall'occhio destro vanno a finire nell'emisfero destro e le fibre dell'occhio sinistro vanno nell'emisfero sinistro.

Da un punto di vista grossolano, il sistema visivo consiste in un'unica via: dagli occhi al corpo genicolato laterale e da questo alla corteccia visiva.

Su scala più fine, questa via è composta da due sottosistemi che sono anatomicamente distinti e che recapitano alla corteccia, in parallelo, informazioni visive differenti.

La via ventrale è evolutivamente più recente e sembra legata alla nostra capacità di riconoscere gli oggetti, facce comprese. La via dorsale è più antica e starebbe alla base della nostra capacità di distinguere le figure dagli sfondi e di rilevare posizione, profondità e movimento. La via dorsale è più sensibile al contrasto e più veloce della via ventrale, ma è cieca al colore e ai dettagli. Essa è la via della visione inconscia per l'azione, mentre la via ventrale è responsabile della visione conscia per la percezione.

Nel viaggio verso la corteccia, una parte delle fibre del nervo ottico si dirige non al corpo genicolato laterale, ma al collicolo superiore. Sia il corpo genicolato che il collicolo superiore hanno il compito di rielaborare e raffinare ulteriormente l'informazione proveniente dalla retina. Il collicolo superiore appare coinvolto nella

localizzazione degli oggetti e nel controllo dei movimenti oculari, mentre il corpo genicolato sembra responsabile di una prima analisi del colore e del contrasto.

Il sistema visivo è caratterizzato da neuroni che rispondono a stimoli sempre più complessi man mano che si prosegue lungo le vie ottiche. Ciò avviene per qualsiasi tipo di percezione visiva, come quella della forma o quella cromatica.

Oggi è generalmente accettato un modello della visione dei colori basato su due stadi, che concorrono entrambi alla determinazione finale del colore percepito: il primo stadio è definito dalla teoria tricromatica, mentre il secondo stadio è definito dalla teoria dei processi opposti.

La teoria tricromatica è valida a livello dei coni e si basa sull'analisi in parallelo su tre canali distinti dei tre colori principali (rosso, verde e blu). Questa teoria viene chiamata anche teoria di Young-Helmholtz, dal nome dei due studiosi che la scoprirono nel corso dell'800. Data una lunghezza d'onda, tutti i bastoncelli sono ugualmente sensibili a quella lunghezza d'onda e quindi consentono solo una visione priva di colori. Ogni cono invece, ha una sua curva di risposta al variare della lunghezza d'onda e la combinazione delle tre diverse curve garantisce la copertura di uno spettro luminoso che va da 380 nm a 740 nm circa e quindi alla percezione di tutti i colori dello spettro visibile.

La teoria dei processi opposti, o teoria antagonistica, è valida invece ai livelli di elaborazione successivi rispetto ai coni. Questa teoria venne studiata dal fisiologo tedesco Ewald Hering (1834-1918) che in origine si era opposta alla teoria tricromatica di Young-Helmholtz, e postula l'esistenza di tre coppie opposte di colori: bianco e nero, rosso e verde, giallo e blu. I neuroni, deputati alla percezione del colore, che rispondono allo stimolo più semplice si trovano nel corpo genicolato laterale. Questi neuroni sono caratterizzati da centro recettivo concentrico ad opposizione cromatica semplice e l'eccitazione del neurone avviene se il centro del campo recettivo viene colpito da un colore, mentre si ha un'inibizione della risposta quando la periferia del campo recettivo risulta colpita dal colore opposto (rosso-verde, giallo-blu). A livello della corteccia visiva primaria troviamo neuroni con risposte più complesse e questi neuroni sono caratterizzati da campi recettivi ad opposizione cromatica doppia. Un neurone di questo tipo viene eccitato ad esempio

da una luce rossa al centro e da una luce verde alla periferia, e viene inibito da una luce rossa alla periferia e da una luce verde al centro.

La sola percezione visiva non basta a darci la conoscenza di un oggetto, questa richiede anche l'intervento della memoria, che evoca per analogia modelli di immagini immagazzinati attraverso precedenti osservazioni. Platone disse che conoscere è ricordare, cioè riconoscere negli oggetti del mondo materiale i modelli ideali conosciuti dall'anima umana nel mondo delle idee (L. De Grandis, 1984)<sup>1</sup>. La percezione di un oggetto ignoto, quindi, tende ad associarsi con caratteristiche di oggetti che già abbiamo visto in precedenza; così, per esempio, si valuteranno le varietà dei colori rosso, giallo, blu, verde, ecc. riferendole al ricordo di colori già conosciuti. Essendo il colore un'esperienza soggettiva, la valutazione differisce nei singoli individui anche dovuto da fattori come l'emotività, il temperamento, lo stato d'animo, la capacità di attenzione e dal corredo acquisito attraverso l'educazione, l'ambiente e la cultura.

---

<sup>1</sup> Nell'opera "Menone", Platone interpreta il ruolo della memoria in chiave metafisica e segue la concezione secondo cui la conoscenza sia fondamentalmente un processo di ricordo di idee innate nell'anima, che l'esperienza in questo mondo e la percezione sensibile contribuiscono a "risvegliare".

## 2. LE DISCROMATOPSIE

L'esperienza del colore non è la stessa per tutti: la discriminazione cromatica, normalmente, varia da individuo a individuo a causa della diversa pigmentazione maculare, della variabilità dell'assorbimento selettivo da parte dei mezzi diottrici oculari, della maggiore o minore sensibilità dei recettori specifici, ma può variare anche a seconda del sesso o dell'età, nel senso che la discriminazione è massima fra i venti e i trenta anni e minore verso le età più alte e più basse (M. Maione, E. Pisano, 1965). Quando queste variazioni però oltrepassano i limiti della norma, si parla di discromatopsie.

La prima evidenziazione clinica dell'anomalia della percezione del colore è dovuta al chimico-fisico John Dalton che per primo, nel 1794, descrisse il disturbo nell'articolo "Fatti straordinari legati alla visione dei colori" e, proprio in suo onore, queste alterazioni vengono di consueto raccolte nel termine daltonismo. Lo stesso Dalton era affetto da discromatopsia rosso-verde o, più precisamente, da deuteranopia. John Dalton elaborò una prima relazione scientifica nella quale tentò di spiegare le cause di tale disturbo, ma, non potendo effettuare esperimenti su se stesso, fece solo delle ipotesi che col tempo risultarono errate.

Le alterazioni della percezione cromatica vengono distinte in due principali gruppi:

- acromatopsia: (acromia, monocromatismo) quando la percezione del colore è assente o più precisamente è un deficit di visione di tutti e tre i colori primari (rosso, verde e blu). Questa categoria di persone presenta uno spettro unitonale, la curva di visibilità fotopica è identica a quella scotopica (assenza dell'effetto di Purkinje) e costituiscono lo 0,003% della popolazione (M. Maione, E. Pisano, 1965).
- discromatopsie: (discromie) quando la percezione cromatica è presente ma è differente dal normale più precisamente è un deficit di visione di uno dei tre colori primari.

Un soggetto normale presenta tre pigmenti retinici (tricromia) con differente spettro di assorbimento (Figura 1). Un'anomalia di grado lieve è presente nei soggetti con tricromia anomala, nei quali sono sempre presenti tre diversi pigmenti dei coni, ma uno di questi differisce dal normale.



Un soggetto affetto da dicromia, invece, presenta, probabilmente, solo due fotorecettori oppure trova sufficienti due soli colori per effettuare una sintesi cromatica additiva. (Figura 2)

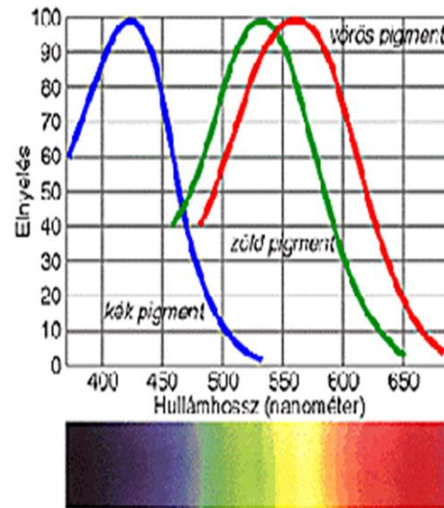


Figura 1: picchi di assorbimento dei tre coni considerando la stessa sensibilità.

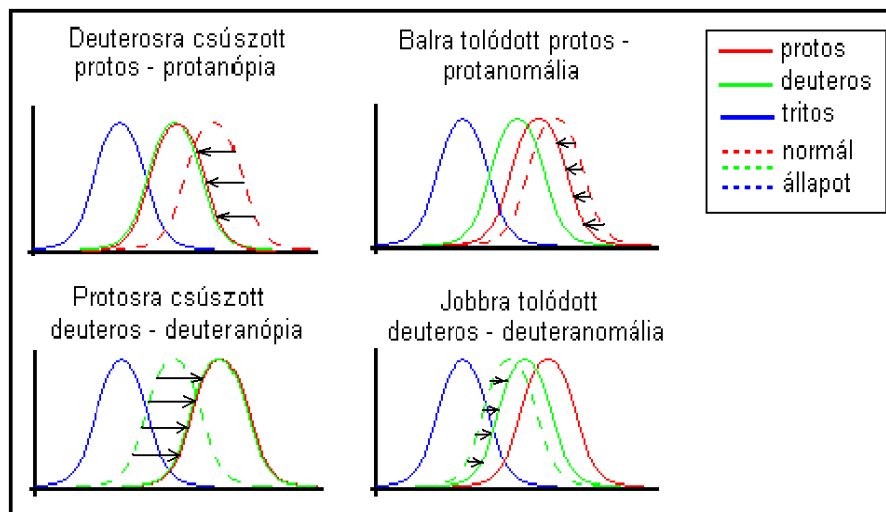


Figura 2: slittamento della lunghezza d'onda percepita dai coni delle varie alterazioni rispetto alla normale visione cromatica. Nella protanopia va a sparire la capacità di percepire il rosso e nella deuteranopia va a sparire la capacità di vedere il verde. Nella protanomaly e deuteranomaly la percezione è solamente alterata.

Infine un soggetto affetto da monocromatismo possiede solo bastoncini o solo un tipo di cono. In questo caso infatti è assente la capacità di distinguere i differenti

stimoli spettrali e inoltre è presente fotofobia, nistagmo e bassa acuità (A. Rossetti e P. Gheller, 2003).

Nella visione tricromatica anomala si possono distinguere i seguenti tipi di individui:

- Protanomali, i quali hanno una capacità di discriminazione cromatica che inizia verso i 609 nm, cioè non vedono il rosso scuro, mentre per il resto dello spettro si comportano in modo simile agli individui normali o hanno una sensibilità ai toni cromatici poco attenuata. In essi la curva di visibilità spettrale ha un suo punto massimo spostato verso il verde, quindi verso le brevi lunghezze d'onda. Per ricostruire, quindi, lo stimolo giallo campione, il soggetto protanomalo usa una quantità elevata di radiazioni rosse: la parte verso il rosso dello spettro risulta di minor brillantezza e con maggior facilità viene persa la percezione per gli stimoli rossi molto desaturati o di bassa luminanza.
- Deuteranomali, i quali presentano una curva di visibilità spettrale il cui massimo è lievemente spostato verso le grandi lunghezze d'onda con conseguente aumento della sensibilità apparente per queste radiazioni: vedono verdastra la radiazione di 589 nm che corrisponde al giallo sodio. In altre parole per ricostruire lo stimolo giallo campione questo soggetto richiede una maggiore proporzione di verde perché esso risulta possedere minore brillantezza. I deuteranomali e i protanomali hanno una fortissima riduzione della discriminazione della saturazione nella regione del verde.
- Tritanomali, i quali presentano un accorciamento della sensibilità spettrale alle basse lunghezze d'onda, con un scarso potere di discriminazione del blu-verde.

Le dicromatopsie, dove l'alterazione del colore è più grave, vengono distinte in due grandi categorie, quelle di asse rosso-verde e quelle di asse blu-giallo. Le dicromatopsie del gruppo rosso-verde sono di gran lunga le più conosciute e valutate. L'esame dei soggetti dicromati evidenzia un punto neutro, ossia uno stimolo senza colore che non può essere distinto da uno stimolo grigio.

Nell'asse rosso-verde distinguiamo due forme:

- La protanopia, non differisce in modo marcato dalla deuteranopia: gli stimoli oltre il punto neutro (492 nm) appaiono giallastri, confondendo verde, giallo, arancione e rosso, mentre quelli di lunghezza inferiore appaiono bluastrici o blu-

porpora. Lo spettro appare notevolmente accorciato dalla parte delle grandi lunghezze d'onda, venendo meno la funzione del cono per le lunghezze elevate, perciò la visibilità spettrale è molto ridotta per il rosso e la curva di sensibilità è spostata verso le brevi lunghezze d'onda. Questa è l'unica condizione per cui la denominazione "cieco al colore" può venire considerata valida, perché una luce rossa può non essere percepita e un oggetto rosso può venir giudicato nero.

- La deuteranopia, in cui gli individui presentano una sensibilità ai toni spettrali diminuita in toto attribuendo due principali colori a tutto lo spettro, giallo per le lunghezze d'onda maggiori, confondendo giallo, arancio e rosso, e bluastro o blu-porpora per quelle brevi. Il punto neutro si trova tra le due sensazioni cromatiche a circa 497 nm. La curva di visibilità spettrale è solo lievemente spostata verso le lunghezze d'onda più alte, per cui ne risulta una lieve diminuzione di sensibilità nel campo delle brevi lunghezze. La brillantezza spettrale comunque è molto simile a quella normale e lo spettro non subisce accorciamenti probabilmente perché i due fotorecettori rimanenti permettono di rilevare l'intera estensione spettrale.

Nell'asse blu-giallo riconosciamo la tritanopia. Questa categoria non è ancora ben conosciuta, ma presentano una curva di visibilità spettrale e l'estensione dello spettro simile a quella normale nonostante la perdita di un fotorecettore estremo. La discriminazione spettrale è lievemente ridotta per le brevi lunghezze d'onda e il punto neutro è posto a circa 580 nm, anche se alcuni individui presenterebbero una seconda banda neutra posta a 430 nm (M. Maione, E. Pisano, 1965). È comune che le persone di questo gruppo abbiano confusione tra gli stimoli giallo-verdi e porpora o tra blu e verdi.

Le regioni che determinano l'anomalia cromatica non vanno ricercate nel difetto del fotorecettore, perché se così fosse, l'anomaloscopio<sup>2</sup> non potrebbe funzionare. Alcuni tipi di anomalie possono attribuirsi, anziché ad una ridotta sensibilità dei sistemi di risposta al colore, quali l'adattamento al colore, ad un cambiamento di

---

<sup>2</sup> L'anomaloscopio è un apparecchio che valuta la gravità del disturbo in base ad una misurazione su apposita scala delle rispettive quantità di rosso e di verde richieste per formare il giallo. Il principio su cui si basa questo strumento è stato scoperto da Raleigh nel 1881, il quale comprese che le persone che confondono il rosso con il verde hanno bisogno di una maggiore quantità sia di rosso che di verde per formare il giallo.

spettro delle curve di risposta. Altre anomalie si potrebbero attribuire al “corto circuito” neurale del sistema recettore dei colori, cosicchè due sistemi funzionerebbero come se fossero un sistema unico (R. L. Gregory, 1998).

Il fatto che l'incidenza di tale problema vari con l'etnia, fra i bianchi la sua diffusione è doppia che fra i neri, e con il sesso, nei maschi è cento volte più frequente che nelle femmine, ha fatto per lungo tempo sospettare che esso avesse una base genetica (P. Bressan, 2007). L'ereditarietà del senso cromatico è sempre stata di particolare interesse e già nel 1816 Nicholl aveva osservato che il daltonismo si trasmette attraverso le donne, che non sono generalmente colpite e nel 1911 Wilson prospetta che ciò avviene perché i geni sono situati sul cromosoma sessuale (M. Maione, E. Pisano, 1965). Le discromatopsie congenite di tipo protan e deutan, quindi, vengono considerate malattie ereditarie recessive legate ai cromosomi sessuali. Poiché l'anomalia è legata al cromosoma X, le donne sono coinvolte con frequenza molto minore perché è necessario che entrambi i genitori siano portatori o affetti dall'anomalia; invece gli uomini, siccome hanno un solo cromosoma X (ereditato sempre dalla madre), devono avere una madre che sia portatrice o affetta dalla malattia per avere, rispettivamente, il 50% o il 100% di possibilità di esserne colpiti. In questo modo un padre che presenta l'anomalia, non può trasmetterla ai figli maschi, ma solo alle figlie femmine rendendole portatrici. Pertanto, circa l'8% dei maschi è affetto da una discromatopsia, ma solo il 4-6% dei soggetti lamenta difficoltà nel riconoscimento dei colori (forme molto lievi), e circa 1% delle femmine risulta affetta da anomalie della percezione cromatica. I disturbi di tipo tritan, minore dello 0,001% della popolazione maschile, invece sono di tipo autosomico dominante, legati perciò ai cromosomi non sessuali, anche se prevalentemente si presentano nella forma acquisita. Anche il monocromatismo è probabilmente trasmesso autosomicamente con un'incidenza minore dello 0,0001%.

Le alterazioni delle vie visive possono influenzare la visione cromatica in qualsiasi momento della vita. I tipi di alterazione che conseguono sono legati alla funzione della parte coinvolta e possono essere bilaterali o monolaterali; inoltre hanno caratteristiche differenti dalle anomalie congenite, perché possono iniziare dopo la nascita in qualsiasi momento con incidenza simile sia per i maschi che per le

femmine, sono prevalenti le alterazioni di tipo tritan, la gravità varia con il tempo, l'acuità è ridotta e il campo è alterato.

Birch nel 1993 classifica le forme acquisite in:

- Tipo 1 (rosso-verde): è simile alla forma protan congenita dove il picco della curva di efficienza luminosa è spostato verso le lunghezze d'onda brevi. Le cause di questa anomalia può essere la distrofia dei coni o dell'epitelio retinico pigmentato.
- Tipo 2 (rosso-verde): è simile alla forma deutan congenita, ma con maggior riduzione della sensibilità spettrale a lunghezze d'onda brevi. Una causa è la neurite ottica.
- Tipo 3 (blu-giallo): simile alla forma tritan congenita ma con il picco della curva di efficienza luminosa è spostato verso le lunghezze d'onda brevi. Le cause possono essere la corioretinopatia sierosa centrale, la degenerazione maculare senile, la distrofia dei coni o dei bastoncelli, le lesioni retiniche periferiche, la retinite pigmentosa, il glaucoma e i disordini vascolari retinici come il diabete (A. Rossetti e P. Gheller, 2003; M. Maione, E. Pisano, 1965). Anche la cataratta può portare una lieve alterazione della sensibilità blu-giallo dovuta al cristallino opacato.

In sintesi, anche se grossolanamente, si può affermare che le alterazioni endobulbari si accompagnano a disturbi di asse giallo-blu e quelle extrabulbari a disturbi di asse rosso-verde. Nelle forme gravi delle malattie sopra elencate il disturbo cromatico può essere di forma più significativo fino a raggiungere praticamente il grado dell'acromatopsia, anche se questo interessa particolarmente alle alterazioni retrobulbari anziché quelle endobulbari.

### 3. IL METODO

Circa 8% degli uomini e il 0,5% delle donne ereditano un difetto nella visione dei colori, spesso vengono confusi i colori come il rosso, il verde e il giallo. Tutti questi individui di solito falliscono i test sensibili come il test di Ishihara, ma molte persone che hanno solamente una lieve alterazione non hanno significative difficoltà nella decisione dei colori nella vita quotidiana. I test in commercio, come Farnsworth e altri, aiutano a identificare le persone con difficoltà significative poiché fallirebbero questi test; dal fallimento o dal superamento del test, il soggetto può essere valutato in una certa misura sul tipo e sull'importanza della loro variazione rispetto alla visione normale dei colori.

Il primo compito è quello di valutare se è presente un difetto della visione dei colori e per questo nei casi seguenti abbiamo utilizzato il test di Ishihara per avere una prima veloce valutazione della presenza del problema, poi il City University Colour Vision test (3° edizione 1998) per valutare il tipo di discromatopsia e infine il sistema ColorLite per trovare la lente più adatta per migliorare la visione delle sfumature dei colori nei soggetti affetti da discromatopsia.

#### 3.1 ISHIHARA TEST

Il test di Ishihara è un insieme di 38 tavole contenute in un libro di pagine a sfondo nero dove sono presenti dei dischi con cerchietti di tinta diversa ma a medesima chiarezza.

Queste tavole sono utili per trovare la presenza di difetti congeniti della visione dei colori soprattutto per l'asse rosso/verde e non su quello giallo/blu.

La prima tavola contiene il numero 12 e non è pseudoisocromatica. Serve per dimostrare il test e viene letta anche da chi vede male i colori.

Dalla tavola 2 alla tavola 17 i numeri devono essere riconosciuti da chi possiede un normale senso cromatico ma vengono letti male o per nulla da chi presenta anomalie della visione dei colori nell'asse rosso/verde. Nelle tavole 18-21 non sono contenuti numeri, che invece vengono letti da chi presenta una deficienza rosso/verde e non

vengono riconosciuti da chi ha una visione normale dei colori. Le tavole 22-25 sono le più interessanti, in quanto permettono di distinguere la vera cecità per un colore (protanopia o deuteranopia a seconda che sia per il rosso o per il verde) dalla cecità parziale (protanomalia o deuteranomalia). Dalla tavola 27 alla 38 i numeri sono sostituiti da percorsi per gli illetterati, con lo stesso significato della lettura dei numeri (figura 3).

Queste tavole vanno lette a una distanza di 30-40 cm con la correzione per vicino in alcuni soggetti e con una illuminazione adeguata. E' possibile eseguire il test sia in mono che in binoculare.

I difetti congeniti sono sempre binoculari mentre quelli acquisiti (es. Distrofia dei coni) possono essere monoculari.

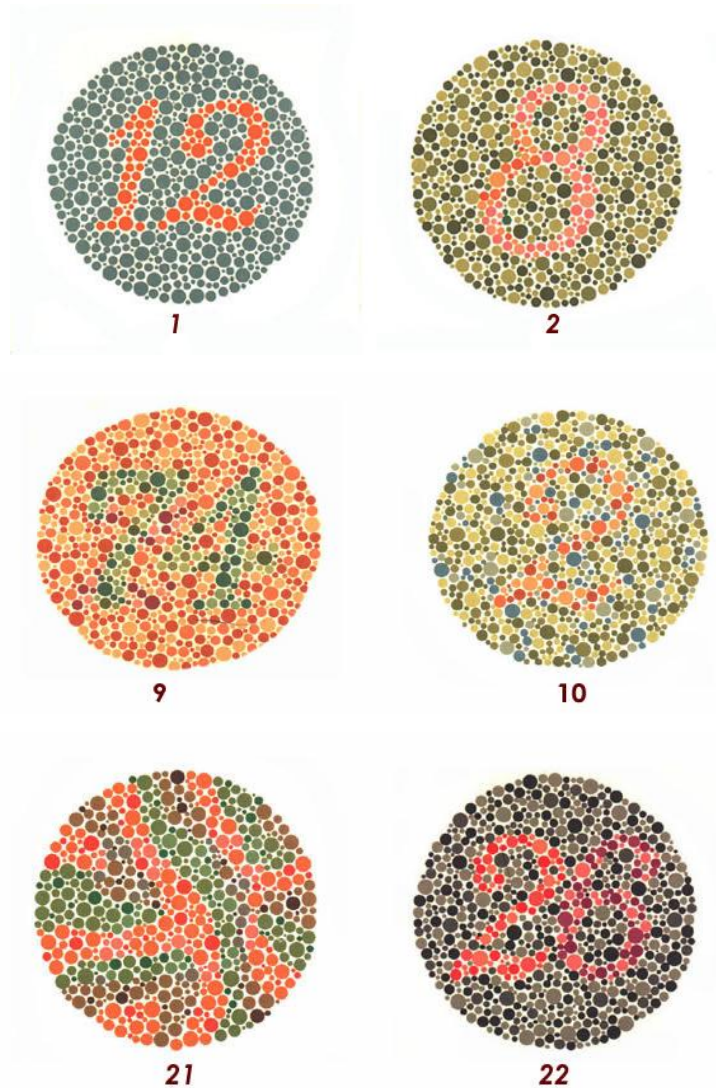


Figura 3: test pseudoisocromatico di Ishihara.

### 3.2 CITY UNIVERSITY COLOUR VISION TEST

Il City University Colour Vision test deriva dal Farnsworth test D-15 ed è costituito da due parti: la prima serve per effettuare uno screening in modo da rilevare la presenza di visione del colore difettosa, mentre con la seconda parte si identifica il tipo di difetto.

Talvolta solo una parte del test può essere svolta e bisogna tenere in considerazione anche che alcuni soggetti rispondono meglio ad un compito rispetto ad un altro. Inoltre i soggetti con un lieve difetto possono fallire il test di Ishihara ma passare il City test con un piccolo grado di difficoltà e tendono a rispondere più velocemente alla prima parte del test.

Bisogna ricordare che il test di Ishihara non è in grado di individuare i difetti di tipo tritan, mentre il City test spesso lo fa.

Questo test va tenuto a 40 cm dagli occhi del soggetto e perpendicolare alla linea di sguardo. Si può eseguire sia monocularmente che binocularmente con un'illuminazione di circa 600 lux per i soggetti giovani, mentre i soggetti con oltre 50 anni necessitano di quasi del doppio della luce.

#### Prima parte

Serve per trovare rapidamente un significativo difetto nella visione dei colori. Con questa parte del test possono essere individuati tutti e tre i tipi di difetti anche se il deutan e il protan non possono essere distinti tra loro in questa prima parte come invece succede per il tritan.

È formato da 4 pagine ognuna delle quali presenta 4 righe verticali, due nella parte alta della pagina e due nella parte bassa. Ogni riga è formata da tre cerchietti colorati e il soggetto deve identificare la presenza e la posizione del cerchietto colorato diversamente dagli altri, ma non deve dirne il colore. Si inizia con la riga in alto a sinistra, poi in alto a destra, in basso a sinistra e successivamente a destra, e si chiede al soggetto di dirci se vede uno dei tre cerchietti colorato in modo diverso rispetto agli altri due della stessa riga e di indicarci, senza toccare il foglio, la posizione di questo. I tre cerchietti possono essere dello stesso colore (figura 4a).

Nel foglio delle risposte si segna una croce dove il soggetto indica in modo corretto un cerchietto colorato diversamente rispetto agli altri due della medesima riga.



I soggetti normali dovrebbero rilevare e segnare un punteggio totale di 10 o minimo 9 risposte corrette. I deutan e i protan dovrebbero arrivare ad ottenere un punteggio di 4 o 5, ma le persone con difetti molto lievi possono segnare più risposte corrette. Per quanto riguarda i tritan dovrebbero indicare 7 risposte corrette escludendo la maggior parte o tutti i punti che sono indicati con il doppio pallino (figura 4b), in quanto quelle righe di cerchietti sono più sensibili per il riconoscimento di questo tipo di difetto.

I risultati di questo test sono variabili in caso di discromatopsie acquisite.

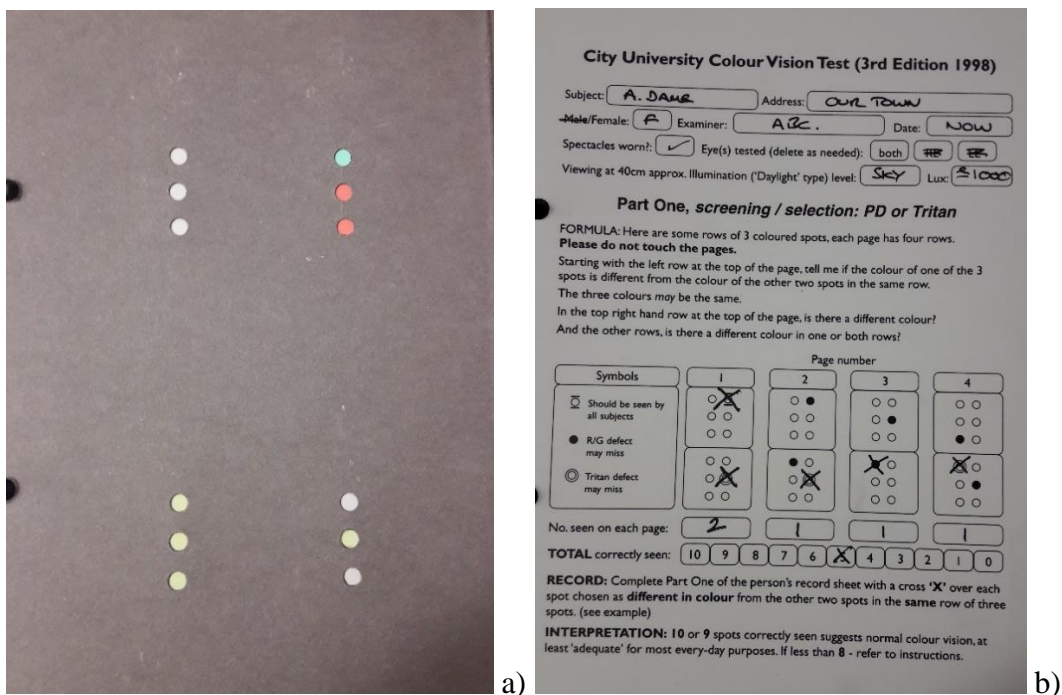


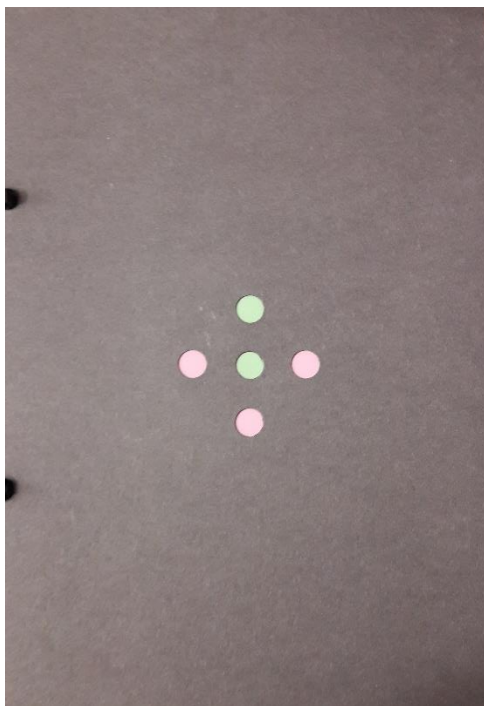
Figura 4: a) pagina della prima parte del City University Colour Vision test. b) foglio delle risposte della prima parte del City University Colour Vision test.

### Seconda parte

Serve per distinguere il tipo di discromatopsia e avere delle informazioni riguardo al grado del difetto. Questa parte è composta da sei pagine, ognuna presenta quattro puntini colorati attorno ad un punto centrale e il compito che viene richiesto è diverso rispetto a quello della prima parte. Al soggetto viene chiesto di scegliere e indicare la posizione di uno dei quattro puntini che ha lo stesso colore del punto centrale, usando le parole “in alto”, “in basso”, “a destra” o “a sinistra”

(figura 5a). In questo modo è possibile individuare se una risposta è normale, deutan, protan o tritan segnandola nell'apposita casella e nella colonna corretta sul foglio delle risposte (figura 5b) e successivamente per capire il tipo di difetto bisogna sommare le risposte date per ogni colonna. Il tipo di difetto sarà, secondo questo test, contrassegnato da un numero di risposte maggiori in una colonna rispetto ad un'altra. Alcuni soggetti possono produrre errori in più di una colonna, ma di solito emerge una tendenza principale.

Il grado del difetto è generalmente indicato dal numero degli errori, cioè risposte che non rientrano nella colonna della normalità, che il soggetto commette: un difetto molto lieve mostra pochi errori, mentre un difetto grave porta ad un numero di errori elevato e così via.



**City University Colour Vision Test (3rd Edition 1998)**

**Part Two, detection / selection: Protan, Deutan or Tritan**

FORMULA: Here are 4 coloured spots **around** the one in the centre.  
Please do not touch the pages.  
Tell me which spot looks most like the **colour** of the one in the centre.  
Use the words 'TOP', 'BOTTOM', 'RIGHT' or 'LEFT'.  
(Note: Indicate any variation from part ONE as to eye(s) tested, etc.)

Page (ID is for demonstration)	Subject's choice of match and eye(s): R, L, Both	INTERPRETATION			
		Normal	Protan	Deutan	Tritan
5	L	R	B	T	T
6	L	T	R	T	B
7	B	R	L	B	T
8	L	T	T	R	B
9	R	R	L	B	T
10	B	R	L	B	T

SCORE:      3 / 6      16      3 / 6      16

**RECORD:** Complete Part Two of the person's record sheet with name, date, etc., R, L, Both eyes, as appropriate.  
Mark correct spaces with person's response (B, R, L, T) clearly.  
A 'score' out of 6 may be indicated if required. (see example given)

**INTERPRETATION:** A 'normal response' score of 6 suggests that colour vision is at least 'adequate' for most every-day purposes.  
If more than ONE entry 'Protan', 'Deutan', or 'Tritan', refer to appendix 3.

**PROFESSIONAL OPINION, as appropriate =** MEDIUM DEUTAN

Keeler Ltd., Clewer Hill Road, Windsor, Berkshire SL4 4AA  
U.K. Tel: +44 (0) 1753 857177 Fax: +44 (0) 1753 857817  
To re-order record charts quote Keeler number 2204-L-7125

**Keeler**

Figura 5: a) pagina della seconda parte del City University Colour Vision test. b) foglio delle risposte della seconda parte del City University Colour Vision test.

### 3.3 SISTEMA COLORLITE

Il sistema è composto da un test, il Colour Vision test, e un set di lenti di prova. Il test è formato da tre sezioni ognuna composta da una serie di immagini pseudoisocromatiche dove sono presenti le C di Landolt. La prima tavola è in bianco e nero e serve per poter far comprendere a tutti il funzionamento del test (figura 6a). Ogni sezione ha uno scopo e delle caratteristiche precise: la prima, formata da 16 tavole, serve per determinare la gravità della discromatopsia e le immagini hanno uno sfondo verde con le C rosse-marroni (figura 6b); le altre due sezioni, composte da 11 tavole ciascuna, servono per distinguere il difetto protan da quello deutan, quindi determinare il tipo di discromatopsia. La seconda sezione è dedicata a rilevare problematiche di tipo protan e presenta delle immagini con sfondo porpora e le C blu (figura 6c), mentre la terza parte è indirizzata a rilevare le problematiche di tipo deutan e anche qui le immagini hanno uno sfondo porpora ma le C sono verdi (figura 6d). Non sono presenti immagini per determinare il difetto sulla linea del blu.

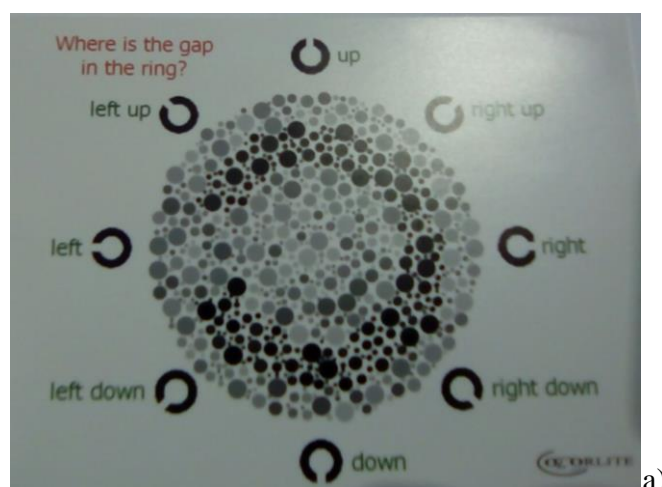
All'inizio delle sezioni le C hanno un forte contrasto di colori e man mano che si procede, nelle pagine seguenti, aumenta la sensibilità del contrasto della sfumatura dei colori mentre lo sfondo rimane costante. Aumenta, quindi, la difficoltà di riconoscere la C dallo sfondo e, a seconda della sensibilità del soggetto per una sezione rispetto ad un'altra, si determina la problematica. La prima immagine della prima sezione ha un codice identificativo 300, mentre le altre due sezioni partono da 200, dove la percettibilità delle C è maggiore mentre l'ultima è 20 dove la C è quasi uniforme con lo sfondo. Il limite che definisce la normalità è il riconoscimento della C almeno fino alla tavola 80.

Nella sezione rosso-verde, il colore rosso-marrone della C nella tavola 300 va a sbiadire man mano che si prosegue con il test, dapprima diventando marrone verso la tavola 200 e poi verso il verde fino a confondersi con lo sfondo verso la tavola 20. Con il procedere del test la componente rossa va diminuendo e così funziona anche per la componente blu e verde nella seconda e terza sezione rispettivamente. L'irregolarità daltonica si può ridurre usando delle lenti migliorative. Le lenti presenti in questo sistema sono dotate di uno strato particolare che è progettato per permettere allo spettro della luce di combinarsi in modo che la stimolazione dei

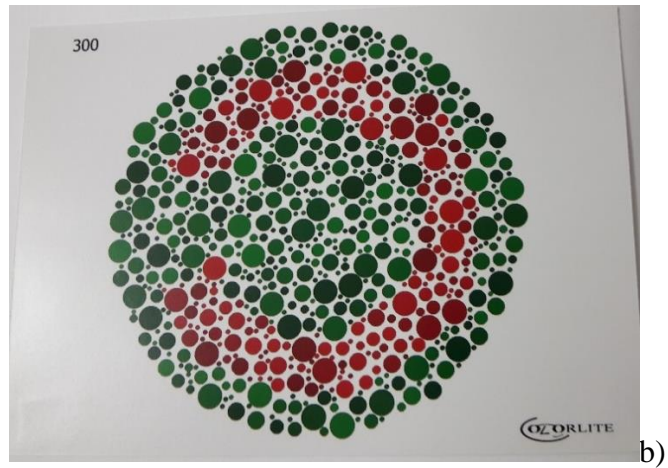
colori avvenga normalmente, come nei soggetti che vedono correttamente. Nella realizzazione della lente si è data grande attenzione della modulazione delle lunghezze d'onda del rosso e del verde dove si presenta l'irregolarità, agendo meno sulla lunghezza d'onda del blu. Usando questa lente speciale migliorativa, chiamata lente ColorLite, si raggiunge il risultato di dare ai daltonici anche la visione delle sfumature dei colori. Nell'90% dei casi si ha un notevole miglioramento nella visione dei colori.

All'interno del set di prova si trovano due tipi di lenti, uno per migliorare il difetto protan (P) e l'altro per il difetto deutan (D). Entrambi i tipi di lenti hanno cinque gradazioni di colore diverse dalla meno alla più intensa denominate con un codice, per esempio P-10, P-15, P-20, P-25, P-30 dove P sta per protan (figura 7). ColorLite propone come prima lente di prova la P-25 se il soggetto come risultato nella prima sezione del test (rosso-verde) raggiunge come massimo la tavola 200.

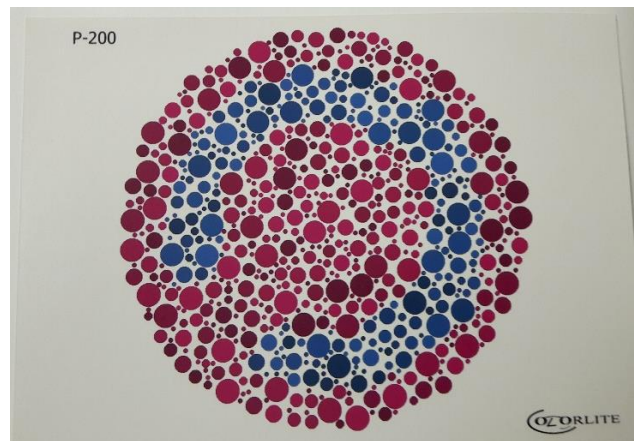
Si cerca di dare al soggetto il filtro che, a seconda dei risultati dei test precedenti, sembra il più opportuno. Si propone, perciò, di indossare per almeno 15 minuti le lenti per dare il tempo al sistema percettivo di adattarsi al nuovo modo di vedere. Successivamente si chiede al soggetto di osservare un foglio bianco e di dirci di che colore lo vede. Se appare bianco-rosa serve solo un po' di tempo in più per l'adattamento, se lo vede rosso la lente sposta eccessivamente la lunghezza d'onda. Dovremmo quindi provare dei filtri diversi in modo da ottenere la percezione del colore del foglio come bianco-rosa. Oltre a questo, il filtro sarà idoneo se il soggetto determina un miglior risultato sia nel Colour Vision test sia nelle tavole di Ishihara.



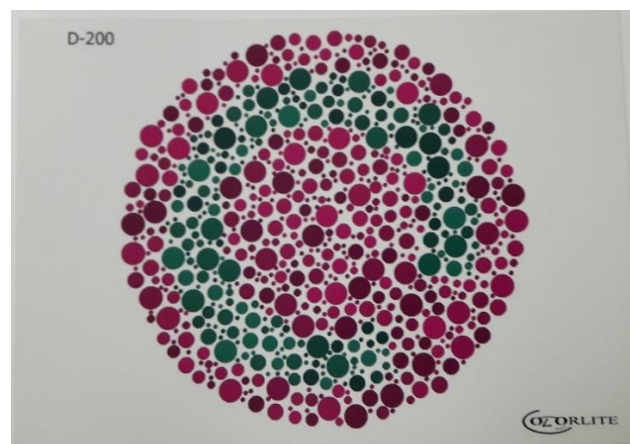
a)



b)



c)



d)

Figura 6: a) prima pagina del ColorLite test, tavola non pseudoisocromatica. b) prima tavola della prima sezione (rosso-verde) del ColorLite test. c) prima tavola della seconda sezione (blu-porpora) del ColorLite test. d) prima tavola della terza sezione (verde-porpora) del ColorLite test.



Figura 7: set delle dieci coppie di lenti ColorLite.

## 4. I CASI

Nelle tabelle successive vengono riassunti i risultati dei test che sono stati effettuati a soggetti di diversa età. I test utilizzati sono stati spiegati nel capitolo precedente.

### CASO 1

ETA'		17
ISHIHARA senza filtro		nessuna tavola
CITY TEST	PARTE 1	4/10
	PARTE 2	protan
COLORLITE TEST senza filtro	ROSSO-VERDE	180
	BLU-PORPORA	80
	VERDE-PORPORA	80
FILTRO		P-15
ISHIHARA con filtro		tutte le tavole
COLORLITE TEST con filtro	ROSSO-VERDE	80
	BLU-PORPORA	80
	VERDE-PORPORA	80

Vediamo che il soggetto presenta un difetto nella visione delle sfumature dei colori in quanto non è riuscito a leggere nessuna tavola di Ishihara che normalmente viene letta da un soggetto normale mentre riesce a vedere i numeri sulle tavole che solo un discromatico può distinguere. Questo dato è in linea con il risultato della prima parte del City University Colour Vision Test dove individua solo quattro risposte corrette su dieci. Con la seconda parte del test si può osservare che la maggior parte delle risposte sono appartenenti alla colonna protan, perciò si può cominciare a pensare che la lente possibile è di tipo protan. Si ha la conferma che siamo in presenza di un soggetto con lievi alterazioni anche dal ColorLite test perché riesce a distinguere le tavole fino a 180, quindi fino a metà circa del test, e basta la minima lente del kit per correggere il difetto arrivando a far leggere tutte le tavole di Ishihara e arrivare a 80 al ColorLite test.

## CASO 2

ETA'		37
ISHIHARA senza filtro		nessuna tavola
CITY TEST	PARTE 1	4/10
	PARTE 2	normal
COLORLITE TEST senza filtro	ROSSO-VERDE	300
	BLU-PORPORA	80
	VERDE-PORPORA	200
FILTRO		D-15
ISHIHARA con filtro		tutte le tavole
COLORLITE TEST con filtro	ROSSO-VERDE	80
	BLU-PORPORA	80
	VERDE-PORPORA	80

Il soggetto non riconosce le tavole di Ishihara e nella prima parte del City test osserviamo che ha individuato quattro risposte corrette su dieci e nella seconda parte seleziona tutti i punti corrispondenti ad una visione normale. Si vede però che con il ColorLite test ha difficoltà gravi di riconoscimento delle C sia nella prima sezione del test sia nella terza. La prima sezione definisce la presenza effettiva di un difetto della visione dei colori come appare anche dal test di Ishihara, mentre nella terza sezione risalta la discromatopsia di tipo deutan che non era stata individuata con il City test. Il filtro D-15 appare il filtro ideale per questo soggetto in quanto riesce a riconoscere tutte le tavole di Ishihara e arrivare a 80 in tutte e tre le sezioni del ColorLite test.



### CASO 3

ETA'		50
ISHIHARA senza filtro		nessuna tavola
CITY TEST	PARTE 1	2/10
	PARTE 2	deutan
COLORLITE TEST senza filtro	ROSSO-VERDE	240
	BLU-PORPORA	80
	VERDE-PORPORA	80
FILTRO		D-15
ISHIHARA con filtro		tutte le tavole
COLORLITE TEST con filtro	ROSSO-VERDE	80
	BLU-PORPORA	80
	VERDE-PORPORA	80

Si può notare che siamo in presenza di un soggetto con difetti nella visione delle sfumature dei colori perché nella prima parte del City test esso dà due risposte corrette in simmetria alla risposta della prima sezione del ColorLite test. In questo caso, rispetto al precedente, la tipologia di difetto si può individuare grazie alla seconda parte del City test, in quanto il numero maggiore di risposte appartengono alla colonna deutan, e non grazie alla seconda o terza sezione del ColorLite test. Provando i vari filtri si osserva che quello che dà un miglioramento del difetto è il D-15 con il quale si normalizza la risposta ai test.

### CASO 4

ETA'		28
ISHIHARA senza filtro		nessuna tavola
CITY TEST	PARTE 1	5/10
	PARTE 2	deutan
COLORLITE TEST senza filtro	ROSSO-VERDE	300
	BLU-PORPORA	80
	VERDE-PORPORA	180
FILTRO		D-25
ISHIHARA con filtro		tutte le tavole
COLORLITE TEST con filtro	ROSSO-VERDE	80
	BLU-PORPORA	80
	VERDE-PORPORA	120

Il soggetto in questo caso nella prima parte del City test ha individuato la metà delle risposte corrette e nella seconda parte emerge il difetto di tipo deutan. Questi dati sono in linea con i risultati del ColorLite test, infatti nella prima sezione non riconosce nessuna C, nella seconda sezione non presenta problemi, perciò non ha difetti di tipo protan, ma presenta delle alterazioni nella terza sezione che corrisponde al difetto deutan. Il filtro che porta ad un miglioramento e che il soggetto riesce ad adattarsi è il D-15. Con questa lente riesce a riconoscere tutte le tavole di Ishihara, ma nella terza sezione del test ColorLite presenta ancora dei limiti. Il soggetto perciò prima dovrà adattarsi a questo tipo di filtro e poi rifare il test dopo due o tre anni per testare se è possibile un ulteriore miglioramento e portare i risultati alla normalità.

#### CASO 5

ETA'		17
ISHIHARA senza filtro		nessuna tavola
CITY TEST	PARTE 1	2/10
	PARTE 2	normale
COLORLITE TEST senza filtro	ROSSO-VERDE	200
	BLU-PORPORA	80
	VERDE-PORPORA	80
FILTRO		P-25
ISHIHARA con filtro		tutte le tavole
COLORLITE TEST con filtro	ROSSO-VERDE	80
	BLU-PORPORA	80
	VERDE-PORPORA	80

Come si osserva dalla tabella questo soggetto ha dato solo due risposte corrette su dieci nella prima parte del City test, in corrispondenza del risultato della prima sezione del ColorLite test. Nella seconda parte del City test però il soggetto ha dato tre risposte normali, due deutan e una protan quindi la maggioranza è nella colonna della normalità. Si nota anche che con il ColorLite test non riesce a distinguere la tipologia del difetto. Un difetto della visione dei colori è indubbiamente presente seguendo i risultati dei tre test, quindi provando vari filtri si è visto che il P-25 è quello più indicato per ottenere i valori di normalità.

## CASO 6

ETA'		77
ISHIHARA senza filtro		nessuna tavola
CITY TEST	PARTE 1	2/10
	PARTE 2	non definito
COLORLITE TEST senza filtro	ROSSO-VERDE	300
	BLU-PORPORA	160
	VERDE-PORPORA	200
FILTRO		P-30
ISHIHARA con filtro		tutte le tavole
COLORLITE TEST con filtro	ROSSO-VERDE	80
	BLU-PORPORA	100
	VERDE-PORPORA	100

In questo caso il soggetto non riconosce nessuna tavola di Ishihara, come nei casi precedenti, e nella prima parte del City test ha dato solo due risposte corrette in linea con i risultati della prima sezione del ColorLite test. Quindi, secondo questi risultati, il soggetto ha un difetto nella visione delle sfumature dei colori. La seconda parte del City test dà due risposte normali, due protan e due deutan e si nota che nel ColorLite test il soggetto dimostra delle difficoltà a riconoscere le C in entrambe le due ultime sezioni. Vediamo che con il filtro P-30 migliora il riconoscimento delle tavole di Ishihara e la prima sezione del ColorLite test ma non migliora completamente la visione della seconda e terza sezione. Probabilmente questo è dovuto non solo ad una alterazione dei fotorecettori, ma anche, considerando l'età del soggetto, della presenza di opacità o altre patologie all'interno dell'occhio.

## CASO 7

ETA'		13
ISHIHARA senza filtro		nessuna tavola
CITY TEST	PARTE 1	4/10
	PARTE 2	deutan
COLORLITE TEST senza filtro	ROSSO-VERDE	220
	BLU-PORPORA	80
	VERDE-PORPORA	200
FILTRO		D-20
ISHIHARA con filtro		tutte le tavole
COLORLITE TEST con filtro	ROSSO-VERDE	80
	BLU-PORPORA	80
	VERDE-PORPORA	80

Il soggetto non riconosce nessuna tavola di Ishihara che un soggetto normale vede, infatti si osserva che nella prima parte del City test individua quattro risposte giuste su dieci. Possiamo quindi pensare che sia presente un difetto della visione della sfumatura dei colori e infatti questa teoria è stata riconfermata anche con il ColorLite test in quanto nella prima sezione (rosso-verde) arriva alla tavola 220. Dai risultati della seconda parte del City test emerge che il difetto è di tipo deutan, in corrispondenza anche all'esito della terza sezione del ColorLite test. Con la lente D-20 si ha un notevole miglioramento della visione delle sfumature dei colori, infatti con questo filtro il soggetto riesce a leggere tutte le tavole di Ishihara e arrivare alla normalità nel ColorLite test.

## CONCLUSIONE

Ognuno di noi percepisce il colore degli oggetti che ci circondano in modo prettamente personale, le sfumature di colore distinte da una persona sono diverse da quelle di un'altra. Ci sono tanti fattori che influiscono sulla visione cromatica, come ad esempio la variazione dello stato d'animo, delle emozioni, delle condizioni psichiche e fisiche, delle esperienze ma anche della sensibilità di un individuo rispetto ad un altro.

La maggior parte delle persone dà per scontata la capacità di vedere i colori vivaci o tenui che siano. Si assicurano che i colori dei vestiti che indossano siano abbinati, se vedono una succulenta fragola rossa hanno voglia di mangiarla e possono godere dei colori della natura. Ma per circa 180 milioni di persone nel mondo percepire i colori costituisce un'esperienza a loro parzialmente o completamente preclusa. A volte percepire un colore o una certa sfumatura risulta difficile o quasi impossibile come accade nei casi di discromatopsia. Siamo abituati a non considerare molto importante come si sente nella vita quotidiana un soggetto con questo difetto, che può dimostrarsi un vero e proprio deficit ed è facile che porti ad un'insicurezza dell'individuo in sé stesso e al disagio all'interno della comunità.

In questa tesina ho cercato di valutare se i filtri ColorLite effettivamente permettano un miglioramento della visione della sfumatura dei colori di queste persone. Ho notato che dopo attente analisi sul filtro più idoneo e un breve adattamento da parte del soggetto, su sette casi campione, con gradi e tipologie diverse di difetto, tutti hanno trovato un beneficio nel riconoscimento anche delle sfumature dei colori, apprezzando maggiormente tutto ciò che li circonda.

Dopo aver somministrato ad ogni soggetto i test per capire il grado e il tipo di difetto, ho proposto le lenti P a chi come risultato dei test veniva definito protan e lenti D a chi veniva definito deutan. Ho osservato, in alcuni casi, che chi effettuava un numero molto elevato di errori accettava più facilmente un filtro più intenso, come un P-25 o un D-25 a seconda della tipologia di discromatopsia, rispetto a chi commetteva un numero minore di errori. Consigliavo, quindi, un filtro più o meno intenso a seconda della quantità di errori che il soggetto commetteva. Non sempre questo metodo risultava subito efficace perché a volte il soggetto compiva un

numero di errori elevato ma bastava un filtro più tenue per ottenere ottimi risultati. Per ogni lente proposta, quindi, verificavo se si ottenevano dei miglioramenti sottoponendo nuovamente i test al soggetto e in questo modo veniva definita la lente più idonea. Procedevo, perciò, per tentativi cercando il filtro ottimale basandomi sulle risposte del soggetto ai test ma anche sulle sue emozioni.

Ho ricercato una regola scientifica che in qualche modo potesse giustificare le risposte, a volte discordanti, dei soggetti all'interno dei test e nella scelta di un filtro anziché di un altro. Purtroppo non sono riuscita a trovare una spiegazione scientifica valida per tutti i casi in quanto i test danno dei risultati a seconda delle scelte che il soggetto fa e quindi entrano in azione la soggettività e le sensazioni personali oltre alla possibile presenza di alterazioni patologiche e non all'interno dell'occhio. Il perché un soggetto veda bene con una lente e non con un'altra dipende senza dubbio da quanto la lunghezza d'onda viene spostata, ma capire quale filtro è il più idoneo per ogni caso dipende dalla capacità del soggetto di adattarsi e quindi di riuscire a vedere il bianco come bianco e di rispondere correttamente a tutti i test.

Questa tesi la considero solo una base di partenza per approfondire maggiormente, in seguito, lo studio riguardo al come e al perché queste lenti riescano ad affinare la percezione delle sfumature di colore e, analizzando altri casi, si potrebbe cercare di capire cosa cambia a livello neuronale dell'individuo prima e dopo aver indossato i filtri.

## BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

### Primo capitolo

- M. G. Bucci, "Oftalmologia", Società editrice universo, Roma, 1993.
- L. De Grandis, "Teoria e uso del colore", Arnoldo Mondadori editore, Verona, 1984.
- M. Lüscher, "Il test dei colori", Casa editrice Astrolabio, Roma, 1976.
- R. L. Gregory, "Occhio e cervello: la psicologia del vedere", Il saggiatore, Milano, 1998.
- M. Maione, E. Pisano, "Il colore e la visione del colore", Maccari editore, Parma, 1965.
- Goethe, J. Wolfgang, "La teoria dei colori", Il saggiatore, Milano, 1981.
- P. Bressan, "Il colore della luna: come vediamo e perché", Editori Laterza, Bari, 2007.
- L. Maffei, L. Mecacci, "La visione: dalla neurofisiologia alla psicologia", Arnoldo Mondadori editore, Milano, 1979.

### Secondo capitolo

- P. Bressan, "Il colore della luna: come vediamo e perché", Editori Laterza, Bari, 2007.
- R. L. Gregory, "Occhio e cervello: la psicologia del vedere", Il saggiatore, Milano, 1998.
- M. Maione, E. Pisano, "Il colore e la visione del colore", Maccari editore, Parma, 1965.
- Rossetti, P. Gheller, "Manuale di optometria e contattologia", Zanichelli, Bologna, 2003.

### Terzo capitolo

- M. Rodriguez, M. O'Neill-Biba, John Barbur, "Assessing the severity of colour vision loss", ICVS 2011, Buskerud University College, Kongsberg, Norway, 2011.

- R. Fletcher, "The City University Colour Vision test", 3a edition, Keeler Ltd., Windsor, 1998.
- P. Bressan, "Il colore della luna: come vediamo e perché", Editori Laterza, Bari, 2007.
- Dr. K. Ladunga, Dr. K. Wenzel, "Color Vision test", Colorlite Ltd., Budapest, 2011.
- Shinobu Ishihara, "Ishihara's tests for colour deficiency", 38 plates edition, Kanehara Trading Inc., Tokyo, 2006
- E. Kindel, "Ishihara", Eye Magazine, 3 Dicembre 2013.
- <http://www.dfisica.ubi.pt/~hgil/p.v.2/Ishihara/Ishihara.24.Plate.TEST.Book.pdf>
- [http://www.daltonismo-eu.com/it/sistema\\_di\\_controllo\\_diagnostico.php](http://www.daltonismo-eu.com/it/sistema_di_controllo_diagnostico.php)



## RINGRAZIAMENTI

Un ringraziamento speciale va alla mia famiglia, mamma, papà, Bruno e Federica che con pazienza mi hanno sostenuta e incoraggiata fino ad arrivare a questo traguardo.

Ringrazio con tutto il cuore Matteo, Federica ed Erika per il loro affetto e appoggio e Arianna, Michela, Elena e Sara che ogni giorno di questi tre anni di università hanno condiviso con me gioie, sacrifici e successi supportandomi e sopportandomi, rendendo questo percorso ancora più prezioso.