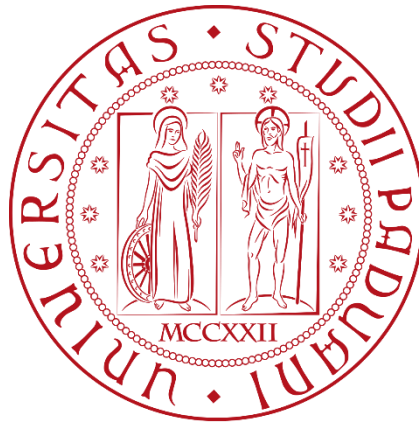


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA



“Dipartimento di Fisica e Astronomia Galileo Galilei”

Laurea triennale in Ottica e Optometria

TESI DI LAUREA

“Studio di relazione tra difetto visivo e colore del filtro solare”

Relatore: Prof.ssa Ortolan Dominga

Laureanda: Vencato Murali

Correlatore: Prof. Battaglini Luca

Matricola: 1174931

Anno Accademico: 2019/2020

"La cura di una parte del corpo non
dovrebbe essere intrapresa senza il trattamento del tutto.

Quindi affinché la testa e il corpo stiano bene,
dovete iniziare a curare la mente: cioè la prima cosa"
[Platone]

Indice

Introduzione	2
1 Capitolo.....	5
1.1 L'evoluzione storica sulla natura della luce	5
1.2 La luce nell'ottica moderna	8
1.3 Le interazioni delle radiazioni elettromagnetiche con l'apparato visivo	12
2 Capitolo.....	17
2.1 Classificazione dei filtri.....	17
2.2 Caratteristiche dei filtri.....	22
2.3 Effetti psicologici prodotti dal colore dei filtri.....	26
2.4 Colore del filtro in relazione ai difetti visivi	27
3 Capitolo.....	31
3.1 Metodologia.....	32
3.2 Partecipanti	32
3.3 Strumentazione	32
3.4 Test somministrati	38
3.5 Analisi dei dati.....	44
3.6 Risultati	45
4 Conclusione.....	53
Bibliografia	55

Abstract

Scopo:

Rilevare una possibile correlazione tra difetto visivo e scelta del colore delle lenti da sole, attraverso l'uso di test optometrici.

Metodi:

In un questionario sono stati raccolti i risultati del test soggettivo, in cui si è rilevato lo stato rifrattivo di 50 soggetti (test Bicromatico), le sensazioni individuali per ogni filtro e la scelta definitiva.

Su 26 di questi soggetti sono stati anche applicati test computerizzati, atti a verificare la compensazione in uso ed eventuali variazioni visive con o senza l'uso di filtri colorati.

Risultati:

Pur in assenza di significatività statistica, si è rilevata la tendenza, secondo la suddivisione data dal bicromatico, la scelta del colore del filtro in relazione alla correzione del vizio di refrazione. Anche se in percentuali molto differenti, la preferenza è stata per i filtri marroni per i soggetti miopi sottocorretti (24%) e ipermetropi sovracorretti (4%), filtri verdi per ipermetropi sottocorretti (24%) e miopi sovracorretti (2%) e nessuna preferenza per i soggetti emmetropizzati (18%).

Introduzione

La maggior parte delle persone sceglie gli occhiali da sole in base al design sempre più innovativo e ricercato. Esiste in commercio una vastissima gamma di montature, da quelle più classiche alle più anticonformiste, con finiture preziose ed elementi iconici che caratterizzano i diversi brand, su cui vengono poi inseriti i filtri di cui sono composte.

Oggi la tecnologia ottica permette di realizzare tantissime lenti colorate, dal verde al blu, dal rosa al giallo, di varie intensità, con tramatura uniforme o sfumata, anche in funzione della moda del momento.

In realtà, l'occhiale da sole, al di là di rappresentare un accessorio esclusivamente estetico, deve avere altre caratteristiche, quali la sicurezza, la solidità, la leggerezza e vestibilità, unitamente alle capacità di garantire una visione adeguata associata a un'altrettanta ottimale protezione dalle radiazioni solari.

Gli elementi fondamentali di questi dispositivi sono le lenti filtranti che devono essere in grado di assorbire quelle lunghezze d'onda luminose, invisibili all'occhio umano, e comprese nelle zone dell'ultravioletto (UV, tra 300 e 400 nm) che, attraversando l'apparato oculare, possono danneggiare le varie strutture.

In base al "taglio" di una o più lunghezze d'onda dello spettro elettromagnetico, queste lenti si dividono in: filtri solari, selettivi, polarizzanti e fotocromatici. La scelta tra i vari tipi di filtri, diversi per colore e materiale, deve assolvere alla necessità di garantire una visione confortevole, riposante, impedendo nel contempo eventuali deformazioni visive del mondo esterno.

Oltre a garantire questo tipo di protezione, le lenti possono essere utilizzate per attenuare sintomi visivi quali la fotofobia, l'abbagliamento e la perdita di contrasto, tipici di alcune patologie oculari tra cui, cataratta, afachia, retinopatia e degenerazione maculare.

Ad oggi, solo il 4% dei soggetti è informato dei rischi e dei danni provocati al sistema visivo dai raggi UV ⁽¹⁾ e pochi si pongono domande sui filtri degli occhiali

da sole e sulle colorazioni più adatte alla tipologia dei loro occhi e all'eventuale presenza di difetti visivi.

1 Capitolo

1.1 L'evoluzione storica sulla natura della luce

La luce (dal latino *lux, lumine e splendor*) è una forma di energia radiante che viaggia ad altissima velocità, ma la cui natura non è pienamente conosciuta ⁽²⁾.

Dall'antichità, e fino a tutto il 700', si credeva che la luce consistesse in un flusso di corpuscoli che si propagavano dalla sorgente in linea retta ⁽³⁾.

Questa, in realtà, è una definizione piuttosto semplificata, che riflette la mancanza di dati sperimentali e la difficoltà in quell'epoca di dimostrare determinati fenomeni.

Dal XVII secolo ad oggi, le due teorie fondamentali, su cui si basa la vera natura della luce, sono state formulate rispettivamente da Isaac Newton (teoria corpuscolare) e da Christian Huyghens (teoria ondulatoria), entrambi focalizzati su aspetti diversi, e tra loro inconciliabili, di una stessa realtà.

La luce comincia ad avere una valenza fisica grazie ad Isaac Newton, quando a metà del '600 questo grande scienziato inglese dimostra con la sua teoria corpuscolare come l'energia luminosa sia formata da piccolissime particelle di materia (corpuscoli) emesse in tutte le direzioni e dotate di altissima velocità ⁽⁴⁾.

Nel suo trattato riassuntivo "Opticks" ⁽⁵⁾, Newton si concentra in particolare su fenomeni luminosi, come la riflessione e la rifrazione, e per primo dimostra, grazie all'utilizzo di un prisma, che la luce bianca è composta dalla somma (in frequenza) di tutti gli altri colori.

L'astronomo olandese Christian Huyghens, contemporaneo di Newton, si muove su supposizioni diametralmente opposte e nel suo "Trattato della luce" ⁽⁶⁾ "descrive la cosiddetta teoria ondulatoria della luce, secondo la quale ogni sorgente luminosa emette onde luminose, distinte per colore e in grado di propagarsi in mezzi elastici (come le onde sonore).

In sintesi, la teoria ondulatoria della luce applica all'ottica la teoria delle onde elastiche. Se la luce consiste in piccole onde, significa che queste hanno bisogno di una qualche sostanza/materia per propagarsi nello spazio. Questa è "l'etere", così come postulato da Huyghens, che verrebbe pertanto concepito come un mezzo elastico presente in ogni punto dello spazio e capace di trasmettere le onde luminose con le proprie vibrazioni ⁽⁷⁾. In pratica, in analogia con i fenomeni acustici, Huygens suppone che la luce sia costituita da onde che si propagano longitudinalmente in un mezzo di trasmissione che riempie lo spazio, l'etere luminifero, costituito da particelle dure ed elastiche. Le percussioni effettuate dalle particelle del corpo luminoso su quelle dell'etere, quantunque di piccola intensità, darebbero origine a onde che, per il principio introdotto da Huygens dell'involuppo, a una grande distanza dal corpo luminoso si uniscono fra loro, a costituire un'unica onda di intensità tale da poter essere percepita.

Data l'elevatissima velocità della luce e nessuna resistenza al moto gravitazionale dei corpi da poter attribuire all'etere, gli studi di Huyghens sono stati a lungo criticati e messi in dubbio, soprattutto in riferimento alla sostanza " etere ", che rappresenta uno dei punti deboli della sua teoria.

Solo grazie ai successivi studi del francese Augustin Jean Fresnel sulla diffrazione e del fisico e medico inglese Thomas Yong sull'interferenza, la teoria ondulatoria viene riconosciuta e considerata, trovando la sua giusta collocazione nel moderno concetto di radiazione elettromagnetica e di fotone che compendia entrambe le teorie.

Successivamente, nel 1873, James Clerk Maxwell e Heinrich Hertz approfondiscono la vera natura fisica della luce, elaborando per primi la teoria dell'onda elettromagnetica.

Maxwell, fisico e matematico scozzese, dimostra che un circuito elettrico oscillante irradia onde elettromagnetiche con lunghezza d'onda corta, senza che sia presente "l'etere".

Hertz, fisico tedesco, avvalorò questa ipotesi creando per la prima volta in laboratorio le onde elettromagnetiche e dimostrando che hanno caratteristiche e proprietà analoghe a quelle della luce.

Nonostante le scoperte fin qui descritte rappresentino i punti cardine delle speculazioni scientifiche agli inizi del 1900, il modello elettromagnetico-ondulatorio non spiega alcuni fenomeni importanti, come le radiazioni emesse dal corpo nero o l'effetto fotoelettrico,

Max Planck, fisico tedesco e premio Nobel per la fisica nel 1918, introduce la teoria “ quantistica ” della luce, secondo cui l'energia luminosa non viaggia come un flusso continuo di onde, bensì attraverso particelle, chiamate “ quanti ”.

La teoria dei quanti di Planck viene confermata da Albert Einstein che, successivamente, dimostra che i raggi luminosi, pur essendo particelle, hanno una massa e una frequenza analoga a quelle delle onde, di fatto arrivando a far convergere le due teorie iniziali sulla natura della luce, vale a dire quella ondulatoria e quella corpuscolare.

Oggi, la Fisica Moderna si basa sul cosiddetto dualismo onda-particella (o onda-corpuscolo) che definisce la duplice natura, sia corpuscolare sia ondulatoria, del comportamento della materia e della radiazione elettromagnetica. Tale per cui, a seconda delle diverse circostanze, la luce può comportarsi a volte come onda e a volte come particella, assecondando in pratica il modello corpuscolare newtoniano o, alternativamente, il modello elettromagnetico-ondulatorio ⁽⁸⁾.

1.2 La luce nell'ottica moderna

Isaac Newton con la sua teoria dimostra un fenomeno molto importante in ottica: la dispersione cromatica, vale a dire un fenomeno fisico che causa la separazione di un'onda in componenti spettrali con diverse lunghezze d'onda, a causa della dipendenza della velocità dell'onda dalla lunghezza d'onda nel mezzo attraversato (9).

In pratica, se viene mandato un fascio di luce bianca a un prisma di cristallo (secondo un esperimento realizzato intorno al 1665/1666 dallo stesso Newton), si osserva come all'uscita il fascio si scomponga nelle sue componenti elementari, complessivamente note come “ spettro ” o colori dell'iride. Tale spettro va progressivamente dal rosso al violetto e rappresenta una luce policromatica generata dal passaggio da un mezzo a un altro di diversa lunghezza d'onda.

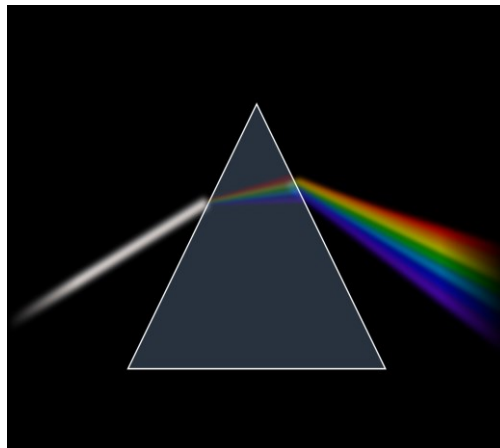


Figura 1. Scomposizione della luce tramite il prisma

Ogni colore di cui la luce è composta corrisponde a differenti lunghezze d'onda con diverso indice di rifrazione.

Per questo motivo, ogni componente manifesta un diverso grado di rifrazione. La luce di colore viola (bassa lunghezza d'onda) ha un indice di rifrazione maggiore e viene deviata maggiormente; la luce di colore rosso (alta lunghezza d'onda) ha indice di rifrazione minore e viene deviata in misura minore.

Concettualmente, i tessuti interni di cui l'occhio umano è composto (cornea, umore acqueo, cristallino, umore vitreo) sono da considerarsi approssimativamente dei diottri, superfici di contatto che separano due mezzi ottici diversamente rifrangenti, trasparenti e con diverso indice di rifrazione e sovrapponibili geometricamente a dei prismi⁽¹⁰⁾. La cornea e il cristallino costituiscono il sistema diottrico oculare. La cornea, in particolare, è un diottro negativo ed è paragonabile a due prismi aventi l'apice in comune sull'asse ottico. Il cristallino è un diottro positivo, ed è paragonabile a due prismi aventi la base in comune sull'asse ottico.

Ogni struttura oculare possiede differenti indici di rifrazione:

- film lacrimale $n = 1.30/1.34$
- cornea $n = 1.376$
- umor acqueo $n = 1.333$
- cristallino $n = 1.41$
- umor vitreo $n = 1.336$

Analogamente all'esperimento newtoniano, l'occhio, a causa della dispersione dei mezzi diottrici, è affetto dalla cosiddetta aberrazione cromatica assiale (cioè presente anche lungo l'asse ottico): un difetto nella formazione dell'immagine dovuta al diverso valore di rifrazione delle diverse lunghezze d'onda che compongono la luce che passa attraverso il mezzo ottico.

Visto il diverso indice di rifrazione che diminuisce all'aumentare della lunghezza d'onda, le componenti monocromatiche della luce, non vengono tutte messe a fuoco sulla retina: quelle di lunghezza d'onda inferiore sono messe a fuoco prima, mentre quelle di lunghezza d'onda superiore lo sono dopo⁽¹¹⁾.

In tal modo, l'effetto della dispersione cromatica su un occhio emmetrope (cioè con rifrazione ideale), sarà tale per cui il primo raggio a incidere sull'asse visivo sarà il blu-violetto (380nm), quello cioè a bassa lunghezza d'onda e maggior indice di rifrazione, mentre l'ultimo sarà il color rosso/porpora (625nm) a elevata lunghezza d'onda e minor indice di rifrazione.

Helmoltz e altri studiosi hanno calcolato che, se l'occhio è in uno stato di riposo accomodativo, la retina si pone in un punto intermedio rispetto all'estremo rosso e all'estremo blu; più precisamente si trova sul punto medio dello spettro visibile, cioè il colore giallo/verde (520-590nm)⁽¹²⁾.

L'occhio di fatto è sensibile solo a una piccola porzione dello spettro elettromagnetico, denominata appunto 'spettro visibile'.

Come un oggetto che vibra nell'aria produce onde sonore registrate dall'orecchio umano solo parzialmente, la stessa cosa avviene per la luce. Le onde di grande lunghezza non agiscono sulla vista ma, man mano che diminuiscono, l'occhio comincia a percepire i rossi più scuri fino al violetto, gli estremi appunto dello spettro visibile.

Quest'ultimo è delimitato a sinistra dalla radiazione ultravioletta UV (100 nm < λ < 390nm), dove vengono percepite solo le lunghezze d'onda brevi che partono dai 380 nm (colore violetto). La parte destra è delimitata dalla radiazione infrarossa IR (760nm < λ < 1mm), dove sono percepite solo le lunghezze d'onda lunghe fino ai 780 nm (colore rosso).

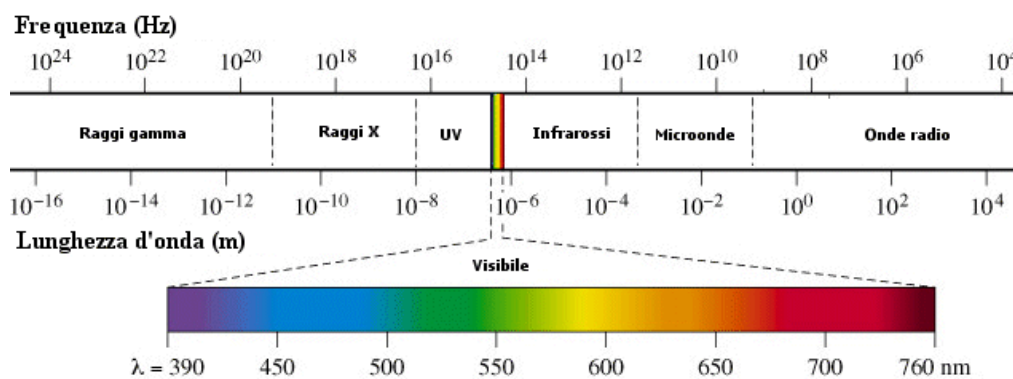


Figura 2. Rappresentazione grafica dello spettro visibile

Nella figura 2, sono schematizzati i sette colori principali che, partendo dalle deviazioni maggiori, sono: il violetto, l'indaco, il cyan (blu-verde), il verde, il giallo, l'arancione e il rosso.

In realtà, lo spettro è composto da un'infinità di sfumature, ciascuna con una propria tonalità legata a minimi cambiamenti della lunghezza d'onda e non tanto alle combinazioni di colori. Ciò nonostante, si elencano quei colori che sono maggiormente percepiti dall'occhio umano⁽¹³⁾.

La prima suddivisione dello spettro in funzione delle corrispondenti lunghezze si deve a Sir William De Wiveleslie Abney (1884-1920) (Tabella 1).

Tabella 1. Suddivisione dello spettro visibile secondo Abney

Colore	Lunghezza d'onda (in nm)
Viola	<446
Oltremare	464-446
Blu	500-464
Verde-azzurro	513-500
Verde	578-513
Giallo	592-578
Arancio	620-592
Rosso	>620

Più recentemente H.B Tilton ha proposto un'altra tabella, basata su bande di tonalità di uguale ampiezza d'onda, ma percepibili come differenti da un occhio normale (a eccezione del viola con lunghezze d'onda più corte, e del rosso con lunghezze d'onda più lunghe).

Tabella 2. Suddivisione dello spettro visibile secondo Tilton

Tonalità	Lunghezza d'onda (nm)
Viola	388-429
Indaco	429-458
Blu	458-481
Ciano	481-499
Turchese	499-513
Verde	513-528
Smeraldo	528-546
Verde pallido	546-561
Giallo	561-575
Ambra	575-586
Ocra	589-599
Arancione	599-610
Mandarino	610-622
Scarlatto	622-636
Rosso	636-782

1.3 Le interazioni delle radiazioni elettromagnetiche con l'apparato visivo

Le radiazioni che superano i confini dello spettro visibile e che per questo sono invisibili all'occhio umano, rappresentano una scoperta recente e comprendono:

- le onde radio
- le microonde
- gli infrarossi (IR)
- i raggi ultravioletti (UV)
- i raggi x
- i raggi gamma
- i raggi cosmici

Tutte le radiazioni dello spettro elettromagnetico possono interagire con la composizione molecolare delle strutture visive e ogni struttura oculare è in grado di trasmettere e assorbire determinate radiazioni luminose.

Le radiazioni trasmesse dal tessuto corneale vanno da 300 a 1200 nm circa, mentre la parte di radiazioni UV (265/285nm) viene assorbita.

L'umor acqueo ha un comportamento filtrante abbastanza modesto, con una banda di assorbimento a 265 nm.

Il cristallino di un soggetto giovane trasmette lunghezze d'onda brevi (295/300 nm); in un anziano trasmette lunghezze d'onda pari a 400 nm a causa dei depositi e degli ingiallimenti o imbrunimenti cui va incontro con la senescenza. ⁽¹⁴⁾.

L'umor vitreo trasmette da 400 a 1300 nm e, come l'umor acqueo, presenta bande di assorbimento prossime a quelle dell'acqua, pari cioè a 980 e 1400 nm.

L'area maculare attua un'ulteriore filtrazione delle lunghezze d'onda brevi per la presenza di una sostanza, chiamata “ xantofilla ”, la quale, assorbendo fino al violetto, dà come risultante il colore complementare giallo ⁽¹⁵⁾.

Inoltre, è stato clinicamente provato che possono crearsi danni a breve e a lungo termine, a seconda del rapporto tra tempo di esposizione alla radiazione e tempo di insorgenza del danno al bulbo oculare.

Il grado di nocività dipende anche dall'energia e quindi dalla lunghezza d'onda della radiazione: più corta è, tanto maggiore è la sua dannosità.

Le onde radio e le microonde sono tutte radiazioni a bassa frequenza: attraversano inalterate la materia e, avendo bassa energia, non sono in grado di eccitare gli stati atomici o molecolari della materia. Pertanto, l'assorbimento è limitato e gli effetti sono quasi nulli.

Al contrario, le radiazioni dall'infrarosso (IR) fino ai raggi gamma inducono complessivamente importanti alterazioni con dell'apparato visivo.

La radiazione solare può essere pertanto classificata in tre settori:

- radiazione Ultravioletta (UV), compresa tra 280nm e 380nm

- radiazione Visibile, compresa tra 380 nm e 780nm
- radiazione Infrarossa (IR), compresa tra 780nm e 2000 nm

L'UV nel suo complesso è la componente più pericolosa, in quanto ha energia sufficiente a spezzare i legami chimici e provocare a volte danni irreversibili.

In base alle diverse lunghezze d'onda di cui l'UV è formata e i diversi effetti sulla salute dell'organismo, l'UV viene suddivisa in tre fasce:

- UV-A, lunghezze d'onda comprese tra 380 nm e 320 nm
- UV-B, lunghezze d'onda medie comprese tra 320 nm e 280nm
- UV-C, lunghezze d'onda corte comprese tra 100 nm e 280nm

Ogni componente viene assorbita in percentuali diverse in funzione della concentrazione di ozono e ossigeno degli strati più alti dell'atmosfera. La radiazione UV-C, la più pericolosa per il suo alto livello energetico, viene completamente assorbita, l'UV-B raggiunge il 15-20% della superficie terrestre, mentre l'UV-A arriva al 55-60%.

Le strutture principalmente interessate dagli effetti della radiazione UV sono la cornea e il cristallino che, proporzionalmente ai picchi di assorbimento corrispondenti a ogni radiazione, possono andare incontro a danni acuti e cronici come la cheratocongiuntivite attinica, lo pterigion, la cataratta ⁽¹⁶⁾.

Le radiazioni dello spettro visibile possono comportare danni principalmente alla retina che viene raggiunta da quelle lunghezze d'onda comprese tra i 400 e 700 nm, con un picco di assorbimento tra i 490nm e 560nm. Il risultato è una fotoretinite, caratterizzata da una prima fase acuta, cui segue una fase cronica che altera la funzionalità maculare fino alla discromatopsia.

Le radiazioni infrarosse (IR) sono radiazioni termiche che vengono percepite dall'organismo come forma di calore. Se assorbite da una molecola, hanno energia sufficiente a provocare un moto vibrazionale, che si traduce in un aumento di temperatura della materia.

Come gli UV, anche gli IR vengono classificati in tre categorie in base alla loro lunghezza d'onda e alla profondità di penetrazione nei tessuti oculari:

- IR-A è la radiazione con la profondità di penetrazione più elevata che può colpire la retina e il tessuto adiposo;
- IR-B non colpisce la retina e penetra solo nei vasi sanguigni, sfiorando il tessuto adiposo;
- IR-C non oltrepassa lo strato superficiale della cute e della cornea.

I danni più comuni correlati alle radiazioni IR sono le ustioni corneali (con IR-C e IR-B), la cataratta termica (con IR-B e IR-A) e il danno termico retinico (con IR-A)⁽¹⁷⁾.

La maggior parte delle persone non è però consapevole dell'azione lesiva di questo tipo di radiazioni, ed è poco informata dei disturbi oculari che sono in grado di provocare.

Gli effetti di queste radiazioni sono inoltre cumulativi nell'arco della vita, motivo per cui è fondamentale cominciare a proteggersi il più precocemente possibile.

Si è riscontrato anche che è minima la percentuale di persone che indossa abitualmente occhiali da sole, con l'obiettivo di prevenire i danni da raggi solari. La maggioranza delle persone è attratta dal design della montatura degli occhiali, più che dalla loro reale efficacia e sicurezza⁽¹⁸⁾. Fermo restando che anche la scelta puramente estetica della montatura ha ripercussioni positive sul benessere generale dell'individuo, pur tuttavia non bisogna dimenticare che l'elemento essenziale di un paio di occhiali da sole sono i filtri.

2 Capitolo

2.1 Classificazione dei filtri

La necessità delle persone di utilizzare un occhiale da sole parte dal bisogno di ridurre l'abbagliamento e l'intensità della luce, proporzionalmente alla diversa esposizione quotidiana alla luce del sole.

Al giorno d'oggi, si vive in un mondo fortemente industrializzato, dove il filtraggio delle radiazioni da parte dell'ozonosfera e i rapidi cambiamenti climatici hanno drammaticamente incrementato l'esposizione dell'organismo (e, in particolare, dell'apparato visivo) a queste radiazioni elettromagnetiche ⁽¹⁹⁾.

Per questo motivo, l'Unione Europea ha classificato gli occhiali da sole come "Dispositivi di Protezione Individuale" (DPI), in grado di garantire alcuni benefici:

- 1) proteggere dalle radiazioni elettromagnetiche più dannose;
- 2) assicurare una visione confortevole, a seconda delle diverse condizioni atmosferiche;
- 3) migliorare la fruibilità del mondo che ci circonda;
- 4) migliorare le abilità visive in funzione delle diverse attività quotidiane ⁽²⁰⁾.

Per poter essere commercializzati, gli occhiali da sole devono però rispettare prestabiliti standard di sicurezza e qualità.

La prima cosa che deve essere visibile, leggibile e indelebile è la marcatura CE, a garanzia di alcune caratteristiche degli occhiali da sole stabiliti per legge: solidità e leggerezza, resistenza meccanica agli urti, assenza di distorsione delle immagini, utilizzo di materiali non nocivi per la salute, assenza di asperità, spigoli vivi, sporgenze o altro che sia in grado di provocare possibili irritazioni.

Quando si deve scegliere questo tipo di dispositivo protettivo, bisogna porre l'attenzione anche a un altro elemento essenziale, vale a dire la qualità e la funzione delle lenti filtranti.

Tali lenti sono considerate “presidi ottici”, atti a modulare l’impatto, sia quantitativo che qualitativo, della luce sulle strutture oculari, attraverso il “taglio” di una o più lunghezze d’onda dello spettro elettromagnetico ⁽²¹⁾.

La quantità è determinata dalla trasmittanza, ovvero dalla capacità filtrante di ogni lente. Viene misurata in base al rapporto percentuale tra l’intensità della luce incidente e l’intensità di quella trasmessa.

In base al potere filtrante, che per la normativa europea (EN 1836) deve essere riportato sulle lenti e sulla montatura, i filtri sono suddivisi in cinque categorie ⁽²²⁾, come riportato nella sottostante figura 3:

Categoria Filtro	Tonalità di colore	Esempio	Uso	Condizioni ambientali
0	Trasparente o molto chiara		Filtro trasparente per radiazioni solari molto ridotte. Utilizzato per occhiali da vista, sportivi e occhiali di protezione.	
1	Chiara		Per ridurre la radiazione solare. Utilizzato come filtro confortevole e per occhiali cosmetici e alla moda.	
2	Media		Filtro universale di uso generico.	
3	Forte		Filtro radiazioni solari per uso generico.	
4	Molto scura		Per radiazioni solari intense (neve, sabbia, montagna, acqua, aree tropicali). Non permesse alla guida.	

Figura 3. Suddivisione dei filtri per occhiali da sole in cinque categorie

La qualità, invece, è la parte dello spettro di luce di cui il filtro permette il passaggio e viene misurata attraverso lo spettrometro.

La normativa ISO-EN 12312-1 riassume in modo schematico i requisiti percentualmente espressi dalle lenti, a seconda della categoria (dalla 0 alla 4) e del range spettrale (UV-B, UV-A, Visibile, IR) ⁽²³⁾ (Figura 4).

Etichetta per il Consumatore	Etichetta Tecnica	Requisiti			
Etichetta Descrittiva	Categoria Filtro	Intervallo Spettrale Ultravioletto		Intervallo Spettrale Visibile	Assorbimento Infrarosso migliorato *
		Massimo valore di trasmittanza UV-B solare τ_{SUVB}	Massimo valore di trasmittanza UV-A solare τ_{SUVA}	Intervallo di trasmittanza luminosa τ_V	Massimo valore di trasmittanza IR solare τ_{IRA}
		Da 280 a 315 nm	Da 315 a 380 nm	Da 380 a 780 nm	
Occhiali da Sole di lieve colorazione	0	5% τ_V	τ_V	$\tau_V > 80\%$	τ_V
	1	5% τ_V	τ_V	$43\% < \tau_V \leq 80\%$	τ_V
Occhiali da Sole per uso generale	2	1% assoluto oppure 5% τ_V	50% τ_V	$18\% < \tau_V \leq 43\%$	τ_V
	3	1% assoluto	50% τ_V	$8\% < \tau_V \leq 18\%$	τ_V
Occhiali da Sole molto scuri per uso speciale	4	1% assoluto	1% assoluto oppure 25% τ_V	$3\% < \tau_V \leq 8\%$	τ_V
Note: il limite superiore di UV-A a 380 nm coincide con quello utilizzato in ottica oftalmica e nella ISO 20473, <i>Ottica e fotoni – Bande Spettrali</i> . * Solamente applicabile ai filtri da sole raccomandati dal produttore come protezione contro i raggi infrarossi					

Figura 4. Trasmittanza dei filtri da sole a uso generale (norma tecnica ISO EN 12312-1)

Le grandezze trasmissive servono come parametri per indicare la bontà del filtro.

La trasmittanza (T_v) è il fattore di trasmissione relativo al campo visibile.

In ottica, questa grandezza esprime la frazione di luce che passa attraverso il filtro, alle varie lunghezze d'onda, senza essere assorbita.

Può assumere valori compresi tra 0 e 1.

Comunemente si usa il termine “ trasmittanza luminosa ”, calcolata in termini di percentuale e compresa tra 0 a 100:

$$T\%: t \times 100$$

dove $T\% = 100$ sta ad indicare che il raggio non ha subito alcun indebolimento, vale a dire che non vi è stato alcun assorbimento da parte della sostanza; $T\% = 0$ sta ad indicare che il raggio è stato completamente assorbito.

Esistono anche varie grandezze trasmissive in relazione alle radiazioni ultraviolette (24).

Il T_{SUV} è definito come la media della percentuale di radiazione solare ultravioletta che oltrepassa il filtro alle varie lunghezze d'onda pesata sul prodotto della funzione spettrale di irraggiamento solare, $E_s(\lambda)$ per la funzione di efficacia relativa spettrale, $S(\lambda)$:

$$T(SUV) = \frac{\int_{280nm}^{380nm} T(\lambda) E_s(\lambda) S(\lambda) d\lambda}{\int_{280nm}^{380nm} E_s(\lambda) S(\lambda) d\lambda}$$

Analogamente, si definiscono i fattori di trasmissione solare nell'UV-A, T_{SUVA} , e nell'UVB, T_{SUVB} .

$$T(SUVA) = \frac{\int_{315nm}^{380nm} T(\lambda) E_s(\lambda) S(\lambda) d\lambda}{\int_{315nm}^{380nm} E_s(\lambda) S(\lambda) d\lambda}$$

$$T(SUVB) = \frac{\int_{280nm}^{315nm} T(\lambda) E_s(\lambda) S(\lambda) d\lambda}{\int_{280nm}^{315nm} E_s(\lambda) S(\lambda) d\lambda}$$

Diversi sono i fattori che entrano in gioco nella scelta dei filtri per gli occhiali da sole, dal vizio rifrattivo, allo stile di vita, all'età, all'occasione d'uso, ecc.

Essenzialmente i filtri si distinguono in:

- filtri solari: assorbono completamente le radiazioni ultraviolette, comprese fra i 300 nm e i 400 nm. Inoltre, assorbono in modo progressivo anche le radiazioni del visibile ad alta energia, comprese cioè tra i 400 nm e i 500 nm e denominate "luce blu".
- filtri selettivi: assorbono completamente le radiazioni ultraviolette e una parte di quelle visibili di bassa lunghezza d'onda.

Vengono utilizzati per diverse finalità ⁽²⁵⁾:

- ritardare la progressione di alcune patologie oculari (retinite pigmentosa, retinopatia pigmentosa, degenerazione maculare senile);
 - alleviare la sintomatologia di abbagliamento, fotofobia e perdita di contrasto;
 - migliorare il comfort e la qualità della visione.
- filtri polarizzati: permettono il passaggio della luce in una sola direzione. Vengono utilizzati in quelle situazioni in cui la luce riflessa su superfici riflettenti (come il lago, il mare, il ghiaccio oppure un tratto di strada rettilineo assolato) provoca abbagliamento, perdita di contrasto, diminuzione della percezione del colore.
 - i filtri fotocromatici: variano la percentuale di assorbimento in base all'intensità delle radiazioni presenti e si scuriscono grazie a una reazione chimica reversibile.

Contengono dei pigmenti fotocromatici che hanno la capacità di modificare la loro colorazione a seconda della radiazione elettromagnetica con cui vengono a contatto. Una volta che l'irradiazione di luce o raggi UV scompare, ritornano gradualmente allo stato iniziale di trasparenza.

Vengono utilizzati da chi passa frequentemente da ambienti chiusi ad aperti.

- i filtri alla melanina sono in grado di assorbire sia le radiazioni ultraviolette (UV), sia quelle visibili ad alta energia (HEV- *High Energy Visible*). Con questo tipo di lenti si ottiene una naturale percezione dei colori, si riduce notevolmente l'abbagliamento e si raggiunge un aumento di nitidezza delle immagini ⁽²⁶⁾.

2.2 Caratteristiche dei filtri

Ogni filtro è caratterizzato da un tipo di materiale e da una specifica colorazione.

I materiali possono essere vetri minerali e resine organiche.

I vetri vengono classificati in: Crown, Flint, Titanio e vetri da terre rare appartenenti ai lantanidi (lantanio, niobio e tantalio)

Le resine (materiali organici) vengono classificate in: CR-39, Policarbonato, Trivex e materiali di alto indice, quasi tutti appartenenti alla famiglia dei poliuretani (Tabella 3).

Tabella 3. Caratteristiche dei principali materiali per i filtri

Materiale	Indice di rifrazione	Numero di Abbe	Densità	Assorbimento UV-A e UV-B (%)
CR-39	1,499	58	1,329	100-90
MR8	1,59	42	1,351	100-100
TRIVEX	1,532	43-45	1,100	100-100
POLICARBONATO	1,586	32	1,200	100-100
VETRO CROWN	1,523	58,5	2,610	79-20

Per la realizzazione di questi filtri solari, vengono selezionati solo pochi materiali.

Tra quelli più utilizzati in ambito oftalmologico, figurano:

- il vetro Crown, chimicamente caratterizzato dall'alta percentuale di silice e da percentuali variabili di soda e calce.

Le performance prodotte da questa tipologia di lente sono tra le migliori specie per quanto riguarda la trasmittanza, con un assorbimento quasi totale degli UV e degli IR.

- il CR39, polimero plastico appartenente alla classe dei poliesteri.

È una delle resine più ricercate, in quanto è molto leggera e ha una resistenza all'impatto quattro volte superiore rispetto al vetro.

La performance visiva non porta agli stessi risultati del vetro: l'assorbimento degli UV e del visibile è stabile e nella norma, mentre l'assorbimento degli IR è del tutto parziale.

- il policarbonato, polimero termoplastico ottenuto dall'acido carbonico, presenta un basso peso specifico e un'elevata resistenza agli urti, con una dispersione più alta rispetto ai materiali precedentemente descritti. Ha un comportamento molto simile al CR39, con risultati notevoli riguardo l'assorbimento degli UV e del visibile, ma meno performante riguardo l'assorbimento degli IR.

Ogni filtro presenta una colorazione, che può presentarsi uniforme su tutta la superficie della lente o leggermente sfumata a un solo tono che degrada di intensità lungo un asse.

La coloritura delle lenti, effettuata sia su lente graduata che non graduata, è finalizzata alla riduzione dell'intensità luminosa grazie a una diminuzione parziale dello spettro di assorbimento.

Con il termine “coloritura” si usa indicare l'intensità in termini di assorbimento percentuale: ad esempio, una lente colorata al 40% induce un assorbimento del 40% della radiazione e per tanto una trasmittanza (teorica) del 60%.

Le tecniche di coloritura si differenziano in funzione del materiale.

Le lenti in vetro possono avere:

- colorazione in pasta dove, in fase di fusione della miscela vetrosa, si introducono ossidi o solfuri metallici;
- colorazione per depositi sottovuoto, dove gli ossidi vengono depositati su una o entrambe le superfici, mediante un procedimento di camera sottovuoto ad alta temperatura.

La coloritura per le lenti in materiale organico può essere:

- per immersione a caldo dove i coloranti in polvere vengono sciolti in acqua ad una temperatura che varia tra gli 80° C e i 95° C;
- coloritura in pasta, in cui i pigmenti organici vengono fusi ai granuli di polimero in fase di plastificazione.

Anche la scelta del colore è un aspetto importante da considerare. Non risponde infatti solo a fattori estetici, ma influisce sulla visione, sulla percezione del contrasto e sulla capacità di differenziare i colori nell'ambito di specifici contesti.

Ogni filtro con una particolare tinta agisce in modo da consentire il passaggio completo della banda cromatica desiderata, assorbendo i colori a essa complementari ⁽²⁷⁾.

In commercio sono disponibili molte tonalità di colori che vanno dal blu al rosso, passando per i verdi, i gialli, gli arancioni, con assorbimento compreso tra il 10% e l'85%.

- Lenti ambra/gialle: trasmettono le radiazioni di lunghezza d'onda maggiore, tra cui giallo, arancio e rosso, e assorbono quelle viola, blu e verdi. Viene aumentato il contrasto per migliorare la definizione dell'immagine. In base alla loro intensità e al tipo di trattamento aggiunto, sono utilizzate in attività come la caccia, la pesca, il pattinaggio, il ciclismo, oppure in condizioni cliniche come la degenerazione maculare senile (DMS), la pseudofachia, la retinopatia ⁽²⁸⁾.

- Lenti rosse e arancio: hanno la capacità di bloccare i raggi più energetici, (blu, viola, indaco, violetto), proteggendo i fotorecettori retinici e migliorandone l'adattamento. In base alla loro intensità e al tipo di trattamento aggiunto, sono utilizzate in sport di precisione e in presenza di patologie come la retinite pigmentosa.
- Lenti azzurre, rosa, viola: sono colorazioni che soddisfano principalmente i gusti e le esigenze estetiche legate alla moda o al design, senza apportare una particolare protezione agli occhi.

Le lenti più comuni e maggiormente utilizzate negli occhiali da sole sono quelle grigie, verdi e marroni.

- Lenti grigie: assorbono nella stessa quantità tutte le lunghezze d'onda dello spettro visibile, preservando l'apparenza naturale dei colori. Possono essere utilizzate sia nel tempo libero che in determinate attività, grazie alla visione chiara che garantiscono in ogni condizione ambientale. Per soggetti emmetropi questa potrebbe essere la tinta privilegiata delle lenti.
- Lenti verdi: trasmettono selettivamente lunghezze d'onda brevi dello spettro del visibile, consentendo pertanto di esaltare la gamma dei verdi e attenuare gli altri colori complementari. Sono spesso indicate per chi ha un difetto visivo come l'ipermetropia e necessitano di correzione rifrattiva.
- Lenti marroni: diminuiscono selettivamente le lunghezze d'onda del blu e dell'estremo violetto, intensificando la percezione di profondità. Sono indicate per alcune attività sportive come il golf e, in alcuni casi, anche per fini terapeutici in soggetti affetti da fotofobia, congiuntivite allergica, albinismo e postumi di chirurgia laser. Sono comunque di comune impiego per chi ha un difetto visivo come la miopia e necessita di correzione rifrattiva.

2.3 Effetti psicologici prodotti dal colore dei filtri

Molto spesso la scelta del colore che dovrebbe avere il filtro solare sembra essere del tutto casuale, legata cioè a questioni puramente estetiche e soggettive del cliente.

Psicologicamente, le sensazioni che i colori producono sull'essere umano influiscono sullo stato d'animo.

Studiosi di cromodinamica hanno scientificamente dimostrato gli effetti specifici che luci e pigmenti colorati riflessi da superfici estese provocano sui processi visivi, uditivi, sul ritmo cardiorespiratorio, sulla circolazione, sul sistema endocrino.

In seguito a queste ricerche, i colori sono stati assunti come veri e propri mezzi terapeutici (cromoterapia).

Johannes Itten, pittore, design e scrittore svizzero scrive: “ i colori sono radiazioni, energie che operano su di noi positivamente o negativamente, anche se non ne abbiamo coscienza”.

In generale, le associazioni più comuni con alcuni colori sono le seguenti ⁽²⁹⁾ :

- blu: è classificato come un colore freddo, cupo e intenso; a livello psicologico, rappresenta la pace, la tranquillità, la spiritualità, la sensibilità. Le sue varie tonalità possono creare sensazioni di calma, armonia e fedeltà a diversi gradi. A livello psicofisico, è considerato utile per il suo effetto altamente calmante. Rallenta la frequenza del battito cardiaco e abbassa la pressione sanguigna, tendendo a rilassare il corpo e allontanare il senso di ansia.
- rosso: è classificato come colore caldo; a livello psicologico è eccitante, dà energia, forza e vitalità, ma allo stesso tempo è cupo, ambiguo e induce aggressività. A livello psicofisico, è usato per stimolare la circolazione;
- giallo: è classificato come colore caldo; a livello psicologico richiama la leggerezza, la rilassatezza e l'energia. A livello psicofisico, è utile per favorire l'estroversione e l'ottimismo.

- verde: è classificato come colore freddo; a livello psicologico crea una sensazione di equilibrio, stabilità e costanza. A livello psicofisico viene riconosciuto come rinfrescante, lenitivo, calmante, rilassante, agendo sul sistema nervoso simpatico.
- grigio: è classificato come un colore acromatico/neutro; a livello psicologico provoca poca vitalità, coinvolgimento, risonanza affettiva, immobilità, tendenza depressiva.
- marrone: è classificato come colore caldo; a livello psicologico dà un senso di rigenerazione, percezione del proprio corpo e rilassamento appagante.

2.4 Colore del filtro in relazione ai difetti visivi

Andrea Rattaro, optometrista e ottico, ex membro del coordinamento dell'Albo degli Ottici Optometristi di Federottica, che si occupa in modo specifico di visione e sport, spiega nell'articolo "Verde, grigia o marrone? La lente non è solo moda", pubblicato il 17 maggio 2017 sul giornale "La Repubblica", che è minima la percentuale di persone che si pone domande sui filtri e sulle colorazioni più adatte alla tipologia di occhio e di eventuale presenza di difetto visivo⁽³⁰⁾.

Soprattutto gli adolescenti, per tendenza, sono inclini a scegliere il colore dei filtri non in base alle loro esigenze visive, ma soprattutto per una valenza estetica o di appartenenza di gruppo.

Nello stesso articolo viene anche sottolineato che una specifica colorazione delle lenti può essere utilizzata per migliorare leggermente il proprio difetto visivo, in funzione dell'ottimizzazione delle lunghezze d'onda.

Ogni sistema visivo è infatti affetto da varie aberrazioni (in particolare l'aberrazione cromatica assiale), e, facendo riferimento alla teoria newtoniana della dispersione di un fascio luminoso policromatico, le varie lunghezze d'onda si posizionano

lungo l'asse ottico in punti diversi, sulla base delle diverse frequenze.

In un occhio emmetrope in riposo accomodativo, la retina coinciderebbe con un punto intermedio dello spettro, (lunghezze d'onda medie gialle); invece le lunghezze d'onda brevi (blu-viola) andrebbero a rifrangersi prima, e quelle di lunghezza d'onda lunga (rosso) andrebbero a rifrangersi dopo.

Nella situazione di un soggetto miope o ipermetrope, che ha bisogno di correzione rifrattiva, anche le lunghezze d'onda subirebbero un leggero spostamento rispetto alla retina.

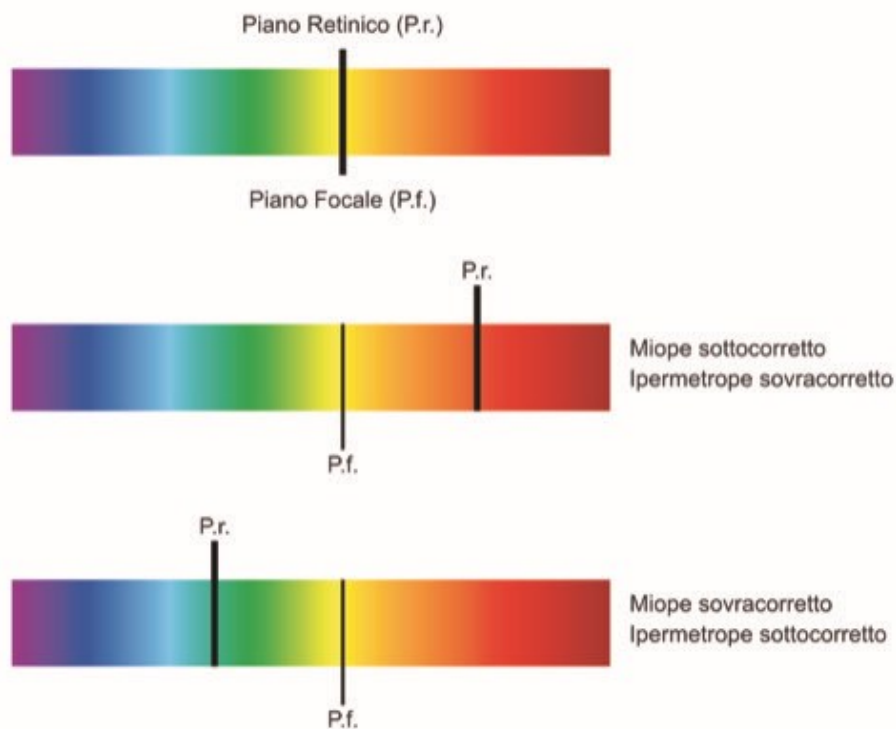


Figura 5. Posizionamento del piano focale rispetto al piano retinico

Nel caso del soggetto miope non totalmente corretto, i fasci di lunghezza d'onda maggiore, corrispondenti al colore rosso (700nm), si avvicinerebbero alla retina. Antepoendo un filtro marrone, si andrebbe ad aumentare la focalizzazione retinica di queste lunghezze d'onda.

Nel caso del soggetto ipermetrope non totalmente corretto, i fasci di lunghezza d'onda minore, corrispondenti al colore blu-viola (380nm) si avvicinerebbero alla retina. Antepoendo un filtro verde, si andrebbe ad aumentare la focalizzazione retinica di queste lunghezze d'onda⁽³¹⁾.

.

3 Capitolo

I dati del seguente studio sono stati rilevati nel periodo compreso tra settembre e ottobre 2020, presso “Studio Ottico-Optometrico Vencato”, azienda presente nel territorio vicentino da oltre 40 anni.

Il progetto si pone come obiettivo quello di ricercare un legame tra vizio refrattivo e colore adeguato dei filtri. Per tale obiettivo, viene utilizzata una prima batteria di test di natura oggettiva (acuità visiva e sensibilità al contrasto, con l’uso di lenti verdi e marroni) finalizzata anche a valutare l’aspetto tecnico di tali filtri.

A ulteriore conferma, viene preso in considerazione anche il giudizio individuale di ogni singolo soggetto ametrope, chiamato a compilare un questionario dedicato a individuare il tipo di filtro che avrebbe scelto come definitivo.

Durante la raccolta dei dati, viene valutata anche la ripercussione psicologica della scelta cromatica dei filtri, oltre alla loro adeguatezza alla condizione refrattiva stimata.

3.1 Metodologia

La ricerca è stata suddivisa in due parti:

- prima sessione: ogni paziente viene sottoposto a valutazione dell'acuità visiva e della sensibilità al contrasto in modo alternato con filtri, senza filtri e viceversa. Per verificare la valenza visiva dei filtri in modo tale che i risultati non siano influenzati dalle capacità acquisite precedentemente, sono stati creati due gruppi:
 - gruppo A, in cui vengono proposti i test con la correzione in uso senza filtri e poi con l'applicazione di filtri solari, marrone per il miope, verde per l'ipermetrope.
 - gruppo B, invece, svolge i test in modo contrario, vale a dire prima con la correzione in uso con i filtri e poi senza.
- seconda sessione: dopo l'esecuzione del test Bicromatico, a ogni paziente viene chiesto di indossare alternativamente i filtri, ed esprimere, tramite un questionario, la sensazione visiva sperimentata.

3.2 Partecipanti

I soggetti che hanno partecipato a questo studio sono stati selezionati in base al loro difetto refrattivo: 25 miopi e 25 ipermetropi e di questi, solo 26 hanno svolto entrambi gli esami, oggettivo e soggettivo. I restanti solo il soggettivo.

3.3 Strumentazione

Utilizzo di un computer ASUS con una risoluzione dello schermo consigliata (1366x768) e con una calibrazione effettuata dal software Spider4Elite 4.5.4.

Spyder4elite è una soluzione di calibrazione monitor semplice e facile da installare. Possiede un sensore brevettato ad ampio spettro con 7 colori che può, oltre a

calibrare in modo professionale uno o più monitor o videoproiettori, effettuarne l'analisi di performance e qualità.

Realizzazione di tre coppie di lenti campione colorate, appositamente tagliate su misura, al fine di realizzare dei clip on facili e leggeri, per poterli applicare a qualsiasi tipo di montatura.

Sono di colore grigio, verde e marrone, di categoria 3, senza la presenza di trattamenti speciali che potrebbero alterare i risultati dei test eseguiti successivamente.

Per la realizzazione di questi filtri, si è utilizzato come materiale organico standard il CR-39, con indice di rifrazione di 1.498, n° Abbe di 62.3, peso specifico di 1,32 g/c³ e taglio UV sui 360 nm.

Grazie all'omogeneità di questa resina, le lenti sono state colorate tramite la coloritura per immersione a caldo.



Figura 6. Esempio di clip-on utilizzati per l'esame soggettivo

Filtro grigio



Figura 7. Visione attraverso filtro grigio

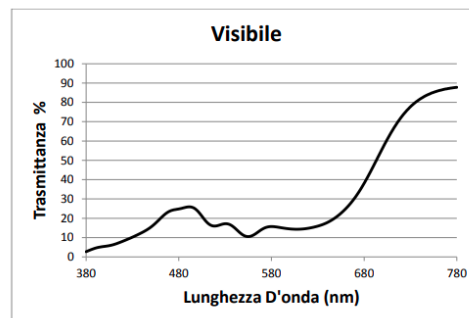


Figura 8. Trasmittanza del filtro grigio in CR39

Il grafico di figura 8 rappresenta la curva di trasmittanza per il grigio in CR39 al 75%, con un progressivo innalzamento della trasmittanza dopo i 600 nm. La percentuale del visibile trasmesso è attorno al 16%, in linea con la normativa.

Filtro verde

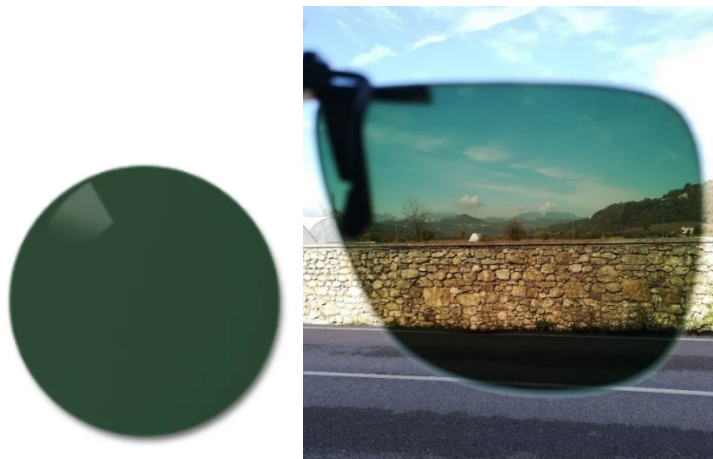


Figura 9. Visione attraverso il filtro verde

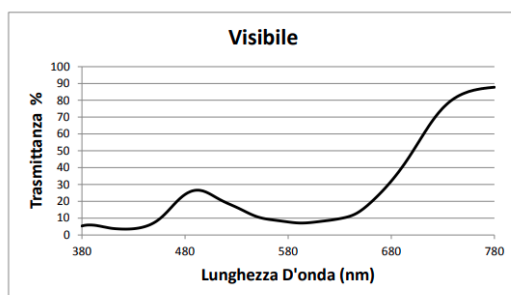


Figura 10. Trasmittanza del filtro verde in CR39

Il grafico di figura 10 rappresenta la curva di trasmittanza per il verde in CR39 al 70%, con un progressivo innalzamento della trasmittanza dopo i 650 nm. La percentuale del visibile trasmesso è attorno al 13%, dentro i limiti previsti dalla normativa.

Filtro marrone



Figura 11. Visione attraverso il filtro marrone

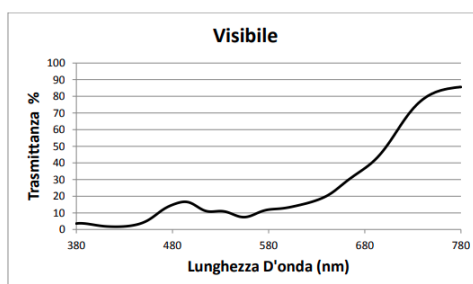


Figura 12. Trasmittanza del filtro marrone in CR39

Il grafico di figura 12 rappresenta la curva di trasmittanza per il marrone in CR39 al 70%, con un progressivo incremento della trasmittanza dopo i 550 nm. La percentuale del visibile trasmessa è attorno al 12%, entro i range dalla normativa.

Questa analisi ha riportato le caratteristiche dei vari filtri, dalla tonalità alla saturazione, con l'immagine relativa al tipo di visione che si percepisce.

I tre grafici, invece, riguardano la trasmittanza relativa allo spettro visibile.

Essendo tutti e tre composti dallo stesso tipo di materiale (CR39), si nota che l'assorbimento da parte degli UV e della radiazione del visibile copre un range simile, con qualche variazione data dalla diversa frequenza d'onda di ogni filtro. L'assorbimento degli IR, invece, non soddisfa i parametri delle norme tecniche.

3.4 Test somministrati

Acuità visiva

L'acuità visiva è la capacità dell'individuo di risolvere e percepire dettagli fini di un oggetto, ed è definita dal più piccolo stimolo visivo ad alto contrasto.

In base al tipo di figura usata come test, l'acuità viene differenziata nei seguenti tipi: minimo percettibile o rilevabile, acuità morfoscopica (minimo riconoscibile o leggibile), acuità di risoluzione e acuità di allineamento.

Quella selezionata per la presente ricerca è l'acuità morfoscopica, vale a dire l'espressione della capacità di riconoscere una determinata forma tra tante possibili, come ad esempio un simbolo o una lettera dell'alfabeto.

Il software che è stato utilizzato si chiama FrACT (Freiburg Visual Acuity Test)
<https://michaelbach.de/fract/download.html>

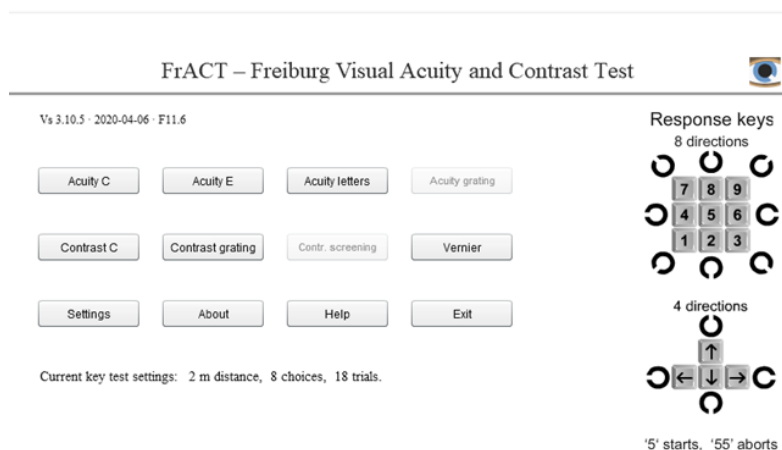


Figura 13. Schermata iniziale del FrACT

FrACT- Acuity letters (Sloan)

Il soggetto è posizionato a due metri dal computer, in un ambiente con luci accese, con la sua correzione abituale da lontano.

Nella presente ricerca, il test è stato somministrato sempre in visione binoculare in due sessioni da 30sec ciascuna: la prima volta con la sola correzione in uso del soggetto e la seconda con l'aggiunta dei filtri cromatici selezionati (o viceversa).

Vengono presentate in sequenza 18 lettere, una alla volta, posizionate al centro dello schermo.

Quando la lettera appare sullo schermo, il soggetto deve riferirla allo sperimentatore che provvede a digitarla sulla tastiera; grazie un feedback sonoro, si riconosce se la risposta è corretta o errata. Il compito diventa sempre più difficile man mano che le lettere diminuiscono di dimensione (feedback positivo; al contrario, se le lettere aumentano in dimensioni a causa di risposte errate, si parla di feedback negativo).

Terminata la prova, il software restituisce il valore dell'acuità visiva espressa in LogMar (Logaritmo del Minimo Angolo di Risoluzione), che indica, tramite un logaritmo in base dieci, la risoluzione dell'occhio del soggetto in minuti d'arco.



Figura 13. Esempio di lettera di Sloan per l'acuità visiva (FrACT)

Sensibilità al contrasto (FrACT- Contrast grating)

La sensibilità al contrasto è la capacità dell'individuo di riconoscere le diverse tonalità di uno stesso colore e, complessivamente, valuta il potere di risoluzione dell'occhio.

Anche per questo test è stato utilizzato il programma FrACT con l'applicazione di una correzione gamma per avere variazioni di luminanza lineari.

Il soggetto è posizionato a due metri dal computer, in un ambiente con luci accese, con la sua correzione abituale da lontano.

Vengono presentate per 0,25 sec 24 stimoli (Gabor) con una frequenza spaziale unica di 7cpd, presenti all'interno di cerchi di diametro 2° con bande chiare e bande scure parallele con diversi orientamenti (90°, 180°, 45°, 135°).

Per la presente ricerca il test è stato somministrato sempre in visione binoculare in due sessioni: la prima volta con la sola correzione in uso del soggetto e la seconda con l'aggiunta dei filtri cromatici selezionati (o viceversa).

Il compito del soggetto è quello di riconoscere il giusto orientamento: a ogni risposta corretta, l'intensità dello stimolo diminuisce gradualmente; a ogni risposta errata l'intensità aumenta.

Una volta terminato il test, il programma fornisce la percentuale di contrasti indicante la soglia di riconoscimento del segnale.



Figura 14. Esempio degli stimoli Gabor all'interno del test per valutare la sensibilità al contrasto

Test Bicromatico binoculare

È una delle procedure finali dell'esame visivo, che sfrutta a fini diagnostici il fenomeno dell'aberrazione cromatica.

Dopo aver individuato il possibile vizio di rifrazione e identificato quali lenti permettano al soggetto di ottenere una visione chiara e confortevole, questo test viene convenzionalmente effettuato alla fine dell'esame optometrico per raffinare la formazione dell'immagine sull'asse ottico.

Si esegue monocularmente verificando dove si forma l'immagine rispetto alla fovea e binocularmente, per bilanciare il sistema visivo.

In ambiente scotopico, si invita il soggetto a leggere le lettere nere di uguale grandezza, prima nel quadrante verde e poi in quello rosso adiacente.

L'esaminato dovrà discriminare quali lettere gli appariranno più nitide e marcate.

Questa procedura è fondamentale perchè permette all'esaminatore di capire se l'immagine si forma prima, dopo o in fovea, e, sfruttano l'aberrazione cromatica esistente, valuta se è indotta una ipo-, orto- o iper- correzione dell'ametropia.

Le risposte percettive al test Bicromatico sono essenzialmente tre:

- preferenza dei caratteri su sfondo rosso: il raggio immagine relativo alla lunghezza d'onda del rosso cade più vicino al piano retinico, ossia la situazione refrattiva corrisponde a una sotto-correzione miopica o a un'iper-correzione ipermetropica
- preferenza dei caratteri su sfondo verde: il raggio immagine relativo alla lunghezza d'onda del verde cade più vicino al piano retinico, ossia la situazione refrattiva corrisponde a una sotto-correzione ipermetropica o a un'iper-correzione miopica
- eguaglianza dei caratteri su sfondo rosso e verde: i raggi immagine delle lunghezze d'onda del rosso e del verde sono virtualmente equidistanti dal piano retinico, ossia la situazione refrattiva corrisponde a una possibile emmetropizzazione.

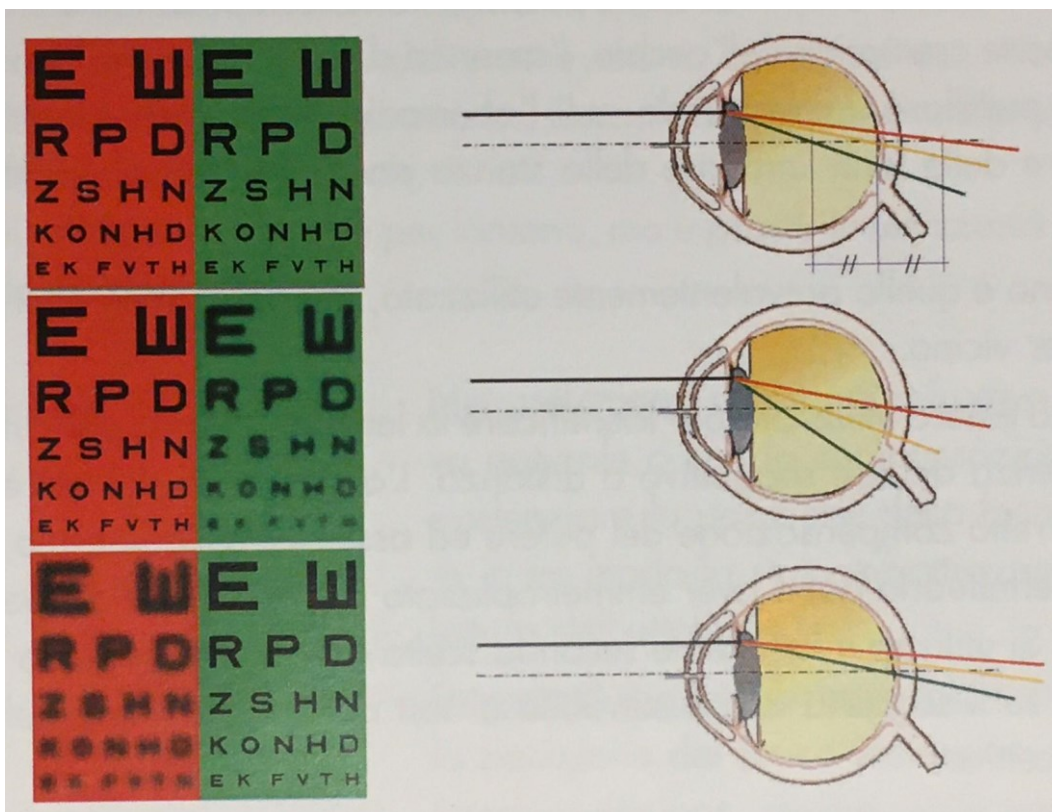


Figura 15. Risposte percettive al test Bicromatico

QUESTIONARIO

"Studio di relazione tra difetto visivo e colore del filtro solare"

1. Sesso

- ☐ M
- ☐ F
- ☐ Altro

2. Difetto refrattivo

- ☐ MIOPIA
- ☐ IPERMETROPIA

3. Et  e professione

4. Utilizza occhiali da sole?

- ☐ MAI
- ☐ A VOLTE
- ☐ SPESSO
- ☐ SEMPRE

5. Colore filtro in uso; Confortevole SI/NO

4. Risposta percettiva al test Bicromatico (in visione binoculare)

- ☐ R (preferenza lettere su sfondo rosso)
- ☐ V (preferenza lettere su sfondo verde)
- ☐ P/ND (pareggio percettivo/non determinabile)

5. Scelta filtro

- ☐ MARRONE
- ☐ VERDE
- ☐ GRIGIO

6. Sensazione

	Confortevole	Indifferente	Non gradevole
MARRONE	☐	☐	☐
VERDE	☐	☐	☐
GRIGIO	☐	☐	☐

Metodo di esecuzione: cliente/paziente con vizio di rifrazione (miopia o ipermetropia).
Si esegue il test Bicromatico per determinare la sovra/sotto o idonea correzione.
Proporre tre copie di filtri di intensit  70%: marrone, grigio e verde.
Il soggetto dopo l'esposizione al sole, dovr  esprimere dei valori secondo la tabella n 6.
Durata: 5 minuti
Esposizione alla luce del sole: fascia oraria dalla 9.00 alle 12.00.

Figura 16. Esempio questionario utilizzato per l'esame soggettivo

3.5 Analisi dei dati

Parte quantitativa

All'interno di una tabella Excel sono stati inseriti i dati dell'esame oggettivo ottenuti dai singoli soggetti. Sono stati suddivisi in base al loro difetto visivo, i primi 13 soggetti sono miopi e gli altri 13 sono soggetti ipermetropi.

I risultati sono stati divisi secondo i diversi test utilizzati nella pratica clinica, acuità visiva e sensibilità al contrasto, svolti con la correzione in uso di ogni soggetto e poi con l'uso di filtri cromatici.

Si è proceduto a calcolare la media dei dati dei miopi e degli ipermetropi e a verificare la potenziale influenza positiva dei filtri.

Prima della valutazione statistica, si è provveduto a controllare se i valori di acuità visiva e di sensibilità al contrasto fossero nella norma. A tal fine si è confrontato il valore medio dell'esecuzione dei due test, utilizzando l'appropriata correzione (senza filtri).

Parte qualitativa

In diversi grafici sono stati riportati i dati relativi all'esame soggettivo di un campione di 50 soggetti, 25 miopi e 25 ipermetropi, in cui sono stati rilevati lo stato refrattivo, le diverse sensazioni visive con l'uso del filtro rispettivamente grigio, verde e marrone in condizione di luce solare e la scelta del filtro da parte del soggetto.

Si è valutata la compensazione in uso di ogni soggetto, eseguendo il test Bicromatico retroilluminato in condizione scotopica, poiché l'assenza di luce favorisce la midriasi pupillare ed evita che il calore delle fonti luminose della stanza possa interferire con la risposta percettiva. Ai soggetti è stato chiesto prima di leggere le lettere nei due quadranti e poi di esprimere in quale di questi quadranti (o se in entrambi) le lettere fossero più nere e marcate.

3.6 Risultati

Tabella 4. Soggetti che hanno partecipato ai test

Totale 50 partecipanti	Maschi (%)	Femmine (%)
Miopi	24	26
Ipermetropi	26	24
Utilizzo occhiali da sole	28	30
Filtro grigio	57,14	20
Filtro marrone	28,57	53,33
Filtro verde	14,28	26,66

I 50 soggetti che hanno partecipato a questo studio appartengono alla fascia di età compresa tra i 18 e i 65 anni, con una media di età pari a $\pm 39,7$.

Di questi, 25 sono maschi (50%), di cui 13 ipermetropi (26%) e 12 miopi (24%), con una media di età pari a $\pm 40,32$; 25 sono femmine (50%), di cui 12 ipermetropi (24%) e 13 miopi (26%), con una media di età pari a $\pm 39,08$.

In relazione al questionario che è stato fatto compilare nella parte soggettiva, risulta che il 28% di soggetti di sesso maschile (miopi e ipermetropi) utilizza occhiali da sole e facendo riferimento a tale percentuale risulta che il 57,14% ha filtri da sole di colorazione grigio, il 28,57% marrone e il 14,28% verde. Il 30% di soggetti di sesso femminile (miopi e ipermetropi) utilizza gli occhiali da sole e facendo riferimento a tale percentuale risulta che il 20% ha filtri da sole di colorazione grigio, il 53,33% marrone e il 26,66% verde.

Dai test oggettivi risulta che i valori ottenuti rispettivamente -0,12 nel compito di acuità visiva e di 1,24 nel compito di sensibilità al contrasto concordato con quelli riportati in letteratura, su campioni normativi (vedi Barollo et al., 2017).

Un t-test parametrico è stato applicato alla prova di acuità visiva, al fine di confrontare la media ottenuta senza filtro (-0,12) e con il filtro (-0,06692). La differenza tra le due condizioni non risulta significativa ($t(25) = 1,06$; $p = 0,29$; Bayes factor = 2,9).

Un t-test parametrico è stato applicato anche alla prova di sensibilità al contrasto, al fine di confrontare la media ottenuta senza filtro (1,2473) con la media ottenuta con il filtro (0,8953). Anche in questo caso la differenza tra le due condizioni non risulta significativa ($t(25) = 1,7$; $p = 0,1016$, Bayes factor = 1.37).

Vista non la non significatività dei t-test eseguiti, si può dedurre che nella pratica clinica i filtri siano ininfluenti ai fini della misurazione della massima (migliore) performance del soggetto.

Alla luce della mancanza di differenze sostanziali, si è introdotto anche il fattore di Bayes (Bayes factor) che supporta l'ipotesi nulla (nessuna differenza fra le due condizioni testate) quando ha un valore maggiore di 1.

Tabella 5. Risultati esame oggettivo

Participant	AV_no_filtr	AV_filtro	Contrast_nf	Contrast_f
p_1	-0,26	0,01	1,98	1,57
p_2	-0,09	-0,26	2,33	1,37
p_3	0,15	0,07	2,88	0,84
p_4	-0,15	0,07	0,53	0,99
p_5	-0,23	-0,28	0,66	0,07
p_6	-0,13	-0,02	1,92	1,73
p_7	0,03	-0,11	4,94	2,19
p_8	-0,09	-0,04	1,09	1,23
p_9	-0,18	-0,21	0,13	1,15
p_10	-0,07	-0,22	1,16	0,43
p_11	-0,15	-0,16	0,14	1,03
p_12	-0,15	0,85	0,19	0,29
p_13	-0,13	-0,2	1,79	0,35
p_14	-0,1	-0,29	0,34	0,3
p_15	-0,02	-0,01	0,85	2,81
p_16	-0,23	-0,3	1,33	0,27
p_17	-0,07	0,09	0,15	0,2
p_18	-0,09	0,05	2,83	3,48
p_19	-0,19	-0,23	0,53	0,07
p_20	-0,13	0,33	0,23	0,75
p_21	-0,15	-0,05	0,15	0,08
p_22	-0,06	-0,25	1,38	0,86
p_23	-0,1	-0,06	0,23	0,25
p_24	-0,17	-0,05	0,62	0,19
p_25	-0,18	-0,2	3,05	0,54
p_26	-0,14	-0,27	1	0,24
media glob	-0,11846	-0,06692	1,247307692	0,895384615

Dal grafico n° 1 risulta che su 50 soggetti, i 25 miopi presenti (50%), 19 miopi (38%) vedono meglio le lettere su sfondo rosso, 2 (4%) vedono meglio le lettere su sfondo verde e 4 (8%) indifferentemente. I 25 ipermetropi (50%), 4 vedono meglio le lettere su sfondo rosso (8%), 16 su sfondo verde (32%) e 5 indifferentemente (10%).

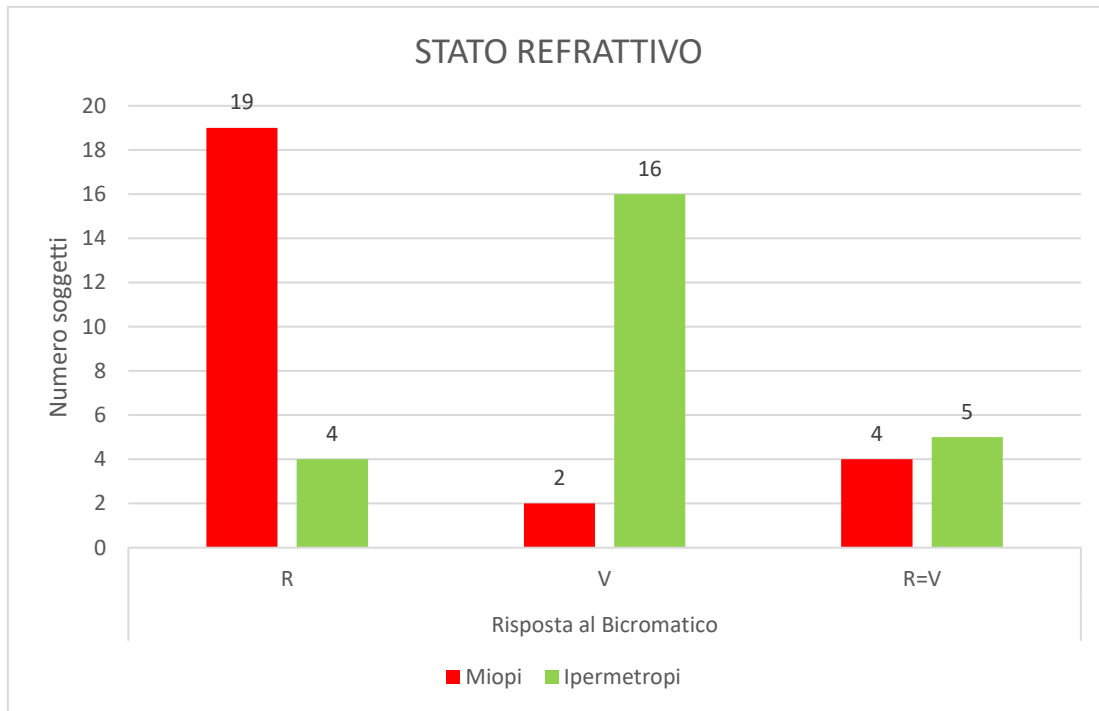


Grafico 1. Stato refrattivo dei soggetti esaminati

Dal grafico n° 2, tra i 50 soggetti esaminati, 22 (44%) hanno espresso un parere di confortevolezza, di cui 13 ipermetropi (26%) e 9 miopi (18%); 21 di indifferenza (42%), di cui 6 ipermetropi (12%) e 15 miopi (30%) e 7 di non gradevolezza (14%), di cui 6 ipermetropi (12%) e 1 miope (2%).

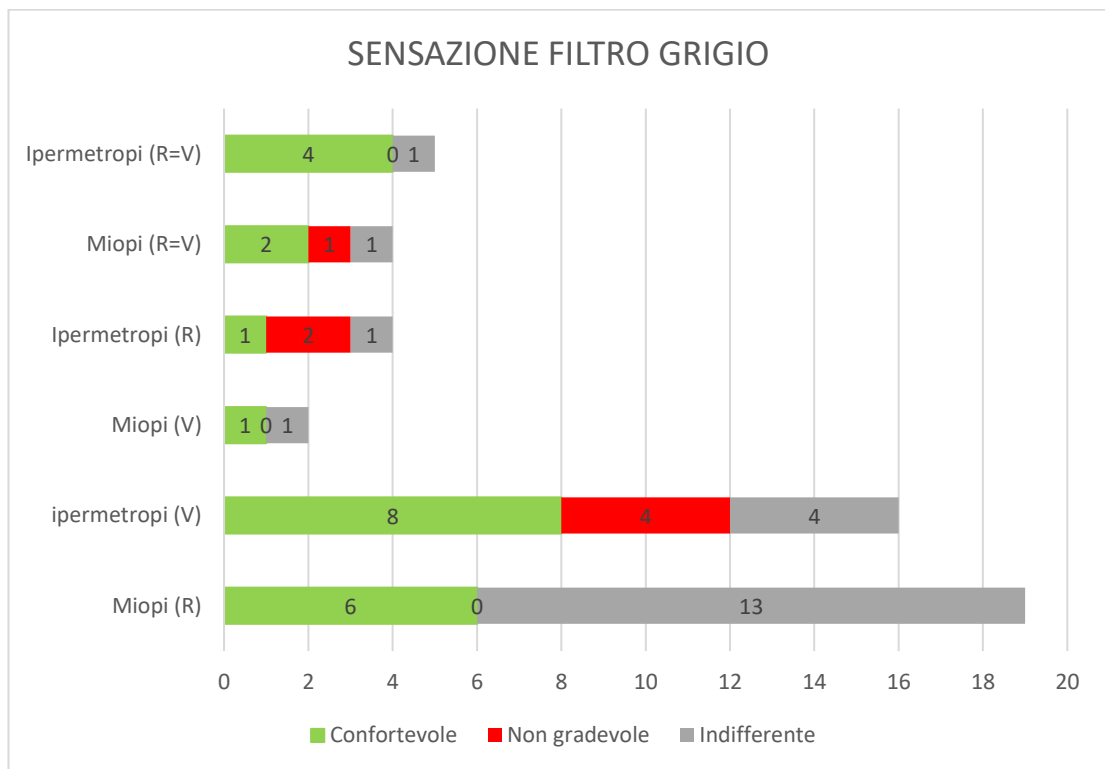


Grafico 2. Sensazione visiva-filtro grigio (in ascissa il numero di soggetti esaminati)

Dal grafico n° 3, tra i 50 soggetti esaminati, 24 (48%) hanno espresso un parere di confortevolezza, di cui 18 ipermetropi (36%) e 6 miopi (12%); 18 (36%) di non gradevolezza, di cui 7 (14%) ipermetropi e 11 (22%) miopi; e 8 (16%) di indifferenza, tutti miopi.

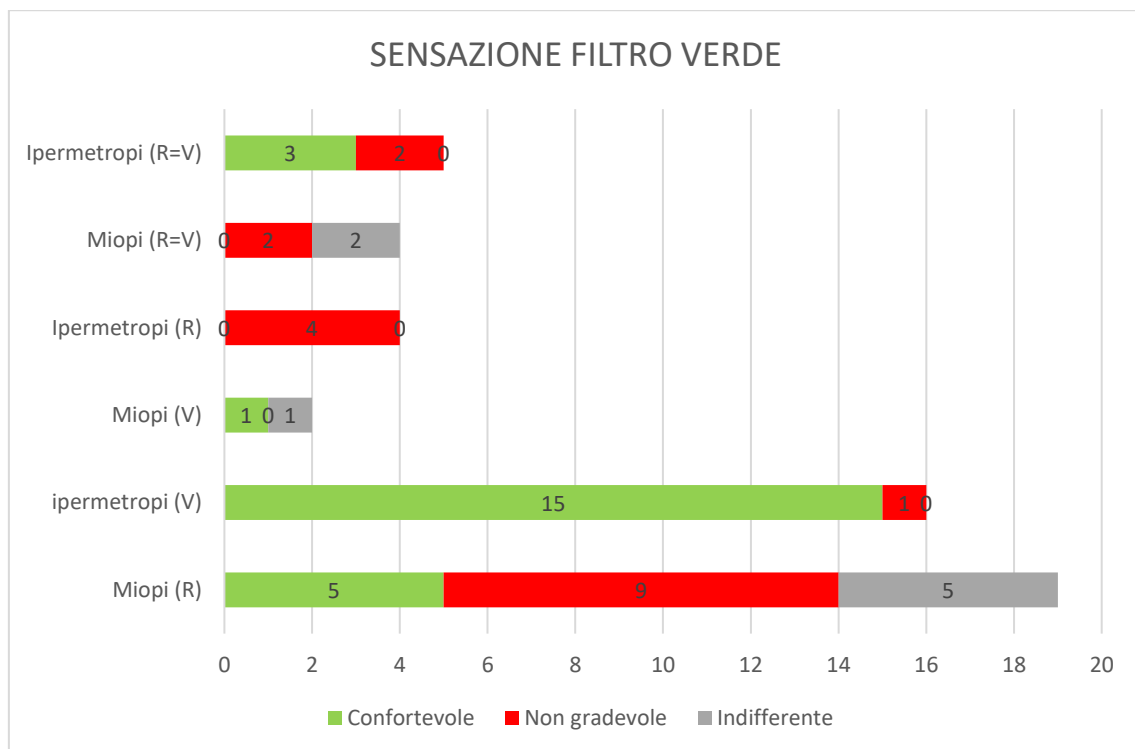


Grafico 3. Sensazione visiva-filtro verde (in ascissa il numero di soggetti esaminati)

Dal grafico n° 4, tra i 50 soggetti esaminati, 21 (42%) hanno espresso un parere di confortevolezza, di cui 6 ipermetropi (12%) e 15 miopi (30%); 17 (34%) di non gradevolezza, tutti ipermetropi e 12 (24%) di indifferenza, tra cui 2 ipermetropi (4%) e 10 miopi (20%).

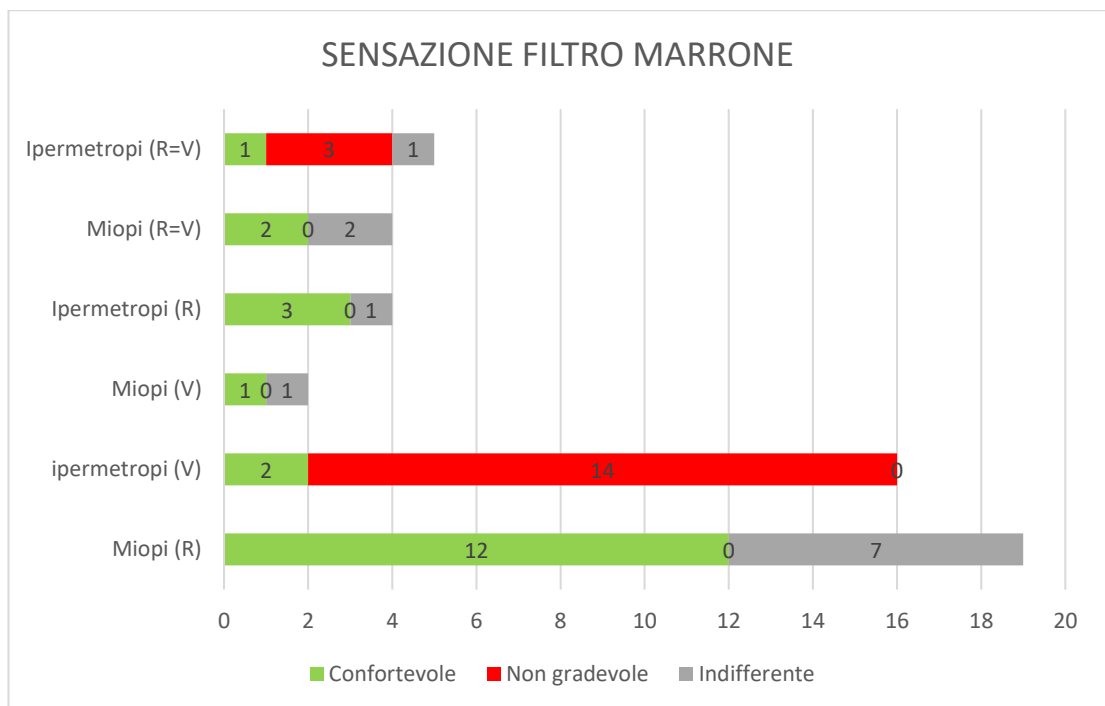


Grafico 4: Sensazione visiva-filtro marrone (in ascissa il numero di soggetti esaminati)

Di seguito la numerosità di miopi e ipermetropi in rapporto alla scelta del filtro:

- Miopi con preferenza percettiva bicromatica sul quadrante rosso: 6 (12%) hanno indicato il filtro grigio, 1 (2%) il filtro verde e 12 (24%) il filtro marrone;
- Miopi con preferenza percettiva bicromatica sul quadrante verde: 1 (2%) ha indicato il filtro grigio e 1 (2%) il filtro verde;
- Ipermetropi con preferenza percettiva bicromatica sul quadrante rosso: 1(2%) ha indicato il filtro grigio, 1(2%) il filtro verde e 2 (4%) il filtro marrone;
- Ipermetropi con preferenza percettiva bicromatica sul quadrante verde: 3 (6%) hanno indicato il filtro grigio, 12 (24%) il filtro verde e 1(2%) il filtro marrone;
- Miopi e ipermetropi con eguaglianza percettiva al Bicromatico hanno scelto: 5 (10%) il filtro grigio, 3 (6%) il filtro marrone e 1 (2%) il filtro verde.

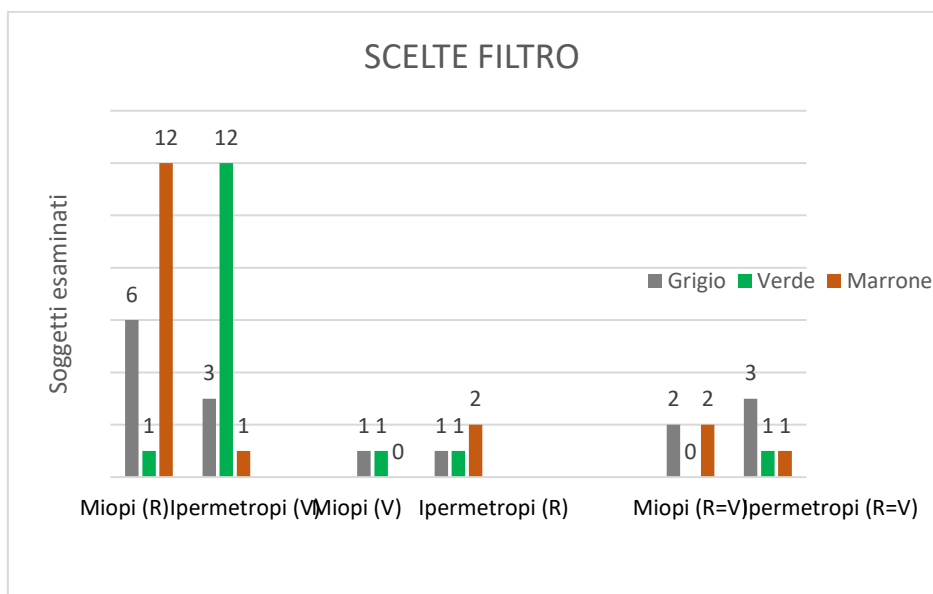


Grafico 5. Scelta filtro

4 Conclusione

I risultati emersi da questa indagine osservazionale, basata su esami comunemente utilizzati nella pratica clinica, come l'acuità visiva e la sensibilità al contrasto, hanno confermato che nel campione preso in esame la sola correzione in uso è in grado di riportare a norma la capacità visiva, senza alcuna significativa variazione o beneficio aggiuntivo in seguito all'utilizzo di filtri.

Questo ci consente di affermare che i filtri utilizzati sono ininfluenti su questo tipo di prove. C'è da dire che probabilmente i test con stimoli in bianco e nero non sono particolarmente adatti a valutare l'uso di filtri che tendono invece a selezionare una componente cromatica ben precisa.

Relativamente ai test soggettivi, test Bicromatico e la scelta del filtro finale, i risultati riportati nei grafici precedenti indicano una possibile scelta del colore del filtro in funzione del posizionamento sull'asse ottico del piano focale rispetto il piano retinico.

I miopi con una significativa preferenza delle lettere su sfondo rosso, hanno confermato di avere una visione più confortevole con il filtro marrone, visto che porta ad aumentare la focalizzazione dello spettro visibile nelle zone più vicino all'infrarosso, tra cui le componenti "rosse" cui questi soggetti sono più sensibili. Gli ipermetropi con una significativa preferenza delle lettere su sfondo verde, hanno confermato una visione più confortevole con il filtro verde, visto che questo filtro enfatizza la capacità di questi soggetti a focalizzare meglio la luce di lunghezza d'onda più vicina a quella blu e UV.

I miopi con una significativa preferenza di lettere su sfondo verde, hanno confermato di avere una visione più confortevole con il filtro grigio e verde, mentre gli ipermetropi con una significativa preferenza di lettere su sfondo rosso, hanno confermato una visione più confortevole con il filtro marrone.

I soggetti miopi e ipermetropi, invece, che hanno una eguaglianza percettiva al test Bicromatico, sembrano non avere una scelta ben precisa: tutti e tre i filtri vengono scelti in egual misura.

I soggetti presi in esame, anche se con percentuali molto differenti, mostrano una potenziale coerenza nella scelta del filtro in relazione alla correzione del vizio di refrazione.

È mia opinione che sia compito dell'Ottico Optometrista impegnarsi in attività di educazione e sensibilizzazione dei clienti, al fine di consigliare il filtro più adatto, sia per quanto riguarda la protezione dall'esposizione alle radiazioni più pericolose, sia in funzione della colorazione più adatta allo stato refrattivo del singolo individuo. In questo modo, il cliente sarebbe affiancato dall'esperto Optometrista nella scelta di lenti sicure, efficaci e il più possibile confezionate "su misura" per le diverse condizioni oculari.

Bibliografia

1. RATTARO A., *‘I filtri e la retino-protezione’*, Coord. Naz. Albo degli Ottici Optometristi. s.l. : Albo degli ottici optometristi.
2. ROSSETTI A., BATTISTIN R., *‘Lenti & Occhiali. Un manuale di ottica oftalmica’*,
Prima edizione. Udine : Mediacal Books, 2003. p. 14. Vol. I.
3. Storia della luce, *‘La luce e la sua natura-Unibg’*. Disponibile online su <http://www00.unibg.it/dati/corsi/8406/3387-naturadellaluce.pdf>.
4. CIAPANNA C., *‘Gli obiettivi fotografici’*, Prima. Roma : Effe, 1977. p. 9.
5. LAZZARONI N., *‘I modelli della luce. Lezioni di ottica fisica’*, Edizione seconda. Milano : Assopto Milano Acofis, 1980. p. 23.
6. NOCERA M., *‘Lo studio della sensazione visiva’*, Milano : Acofis, 1987.
7. DONATIELLO A., *‘Il crollo delle ipotesi sull'etere e l'avvento della relativà ristretta’*, Disponibile online su <https://digilander.libero.it/angeladonatiello/>.
8. Scientifiche, Gals-Gruppo Arcobaleno Lauree. Cenni teoria ondulatoria, *‘Cenni teoria ondulatoria’*. Disponibile online su <http://fisica.unipv.it/Mihich/Natura%20della%20luce.pdf>.
9. SIMONI F., *‘Ottica e tecnologia ottica’*. Bologna : Calderini, 1979. p. 52.
10. MARTELLA V., Ottica visuale-Dipartimento di Matematica e Fisica. *‘Ottica Visuale’*. Università del Salento. Disponibile online su https://www.matfis.unisalento.it/c/document_library/get_file?folderId=2859636&name=DLFE-301023.pdf.
11. LUCARINI G., *‘Argomenti di diottrica oculare’*, 2013, p. 62.
12. BUONI L., *‘L'occhio e la visione’*, Milano : Optikon, 1991. p. 244.
13. DE GRANDIS L., *‘Teoria e uso del colore’*, Seconda edizione. Milano : Mondadori A., 1990. p. 12-13.

14. ROSSETTI A., GHELLER P., *“Manuale di optometria e contattologia”*, Seconda edizione. Bologna : Zanichelli, 2003. p. 13.
15. CARPI D., ROSSI E., *“Fenomeni Bioelettrici”*, Pisa : E. Piaggio. p. 25. Vol. I.
16. REVERDY G., *“Protezione dagli uv nelle lenti oftalmiche”*, 2010 : Medical Evidence, Professione ottico.
17. RLS-Università degli studi di Padova. Pericoli e fattori di rischio. *“Radiazioni ottiche”*. Disponibile online su <http://www.unipd.org.it/rls/pericolarischi/Rischi/Fisico/Radiazioni%20ottiche/Radiazioni%20ottiche.html>.
18. ABATI S. & STEFANELLI M., *“Protezione oculare”*. 2016, b2 eyes magazine .
19. WOLFFSOHN J., *“La necessità di utilizzare una protezione oculare contro la radiazione UV”*, s.l. : The vision care institute.
20. CIARONI., *“I benefici degli occhiali da sole: proteggi i tuoi occhi con stile”*, Disponibile online su <https://blog.ciaroni.it/i-benefici-degli-occhiali-da-sole>.
21. LUALDI G., *“Presentazione Masini”*, Disponibile online su <http://www.re.camcom.gov.it/allegati/INGLUALDIPARTE4.pdf>.
22. BOITO L., *“Approfondimento del quadro normativo europeo relativo all'ammissione di prodotti ottici sul mercato”*, UE. s.l. : Eronda Graphic Studio . p. 6.
23. GIERI A., *“Tutta la verità sui filtri solari”*, Disponibile online su <http://www.ilmioamicoottico.it/2019/05/tutta-la-verita-sui-filtri-solari.html>.
24. BATTISTIN R., *“Lenti & Occhiali”*, s.l. : Medical Books, 2003. p. 467.
25. CORSINI D., *“Filtri e lenti medicali per ipovedenti”*, VIGGI. Disponibile online su <https://www.viggiottici.com/luce-e-filtri-fotoselettivi/>.
26. HUMANITAS., *“Lenti protettive, quali utilizzare? ”* Disponibile online su <https://www.humanitas-sanpiox.it/news/lenti-protettive-quali-utilizzare/>.
27. FORNASIERO A., *“Fornasiero Photographic”*, Disponibile online su <https://www.albertofornasiero.it/i-filtri-e-il-loro->

