Università degli Studi di Napoli “Federico II”

Scuola Politecnica e delle Scienze di Base
Area Didattica di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali

Dipartimento di Fisica “Ettore Pancini”

Laurea triennale in Ottica e Optometria

Confronto tra Refrazione con Occlusione e con PASKAL 3D

Relatori:
Prof. Sasso Antonio
Prof. Gagliardi Michele

Candidato:
Marco Di Somma
Matricola: M44000326

A.A. 2017/2018

A mio padre.
E ad un angelo speciale.

Indice

Prefazione…….....2

Capitolo 1.....4
Apparato visivo:
- I) Anatomia delle strutture refrattive dell'occhio……..4
- II) Visione binoculare e stereoscopica: Percezione della profondità….....5
- III) Basi visive della stereopsi.....5
  - a) I tre gradi della visione binoculare
  - b) Il processo visivo in condizioni binoculari
  - c) Oroptero
  - d) Disparità di fissazione e area di Panum

Capitolo 2……...……8
Stereoscopia:
- I) Definizione, Storia e principali utilizzi……..8

Capitolo 3…….12
La Luce:
- I) La luce……12
- II) La polarizzazione della luce……12
- III) Polarizzazione lineare e circolare……13

Capitolo 4…….14
Test e strumentazione utilizzati:
- I) Presentazione……..14
- II) PASKAL 3D……...14
- III) Test utilizzati……...16
- IV) Test discriminanti……18

Capitolo 5…….19
Risultati e considerazioni:
- I) Risultati……...19
- II) Casi Particolari……24
- III) Considerazioni finali……...26

Bibliografia e Sitografia……..27

Prefazione

Durante il mio percorso di studi, mentre frequentavo il CdL in Ottica e Optometria, mi hanno affascinato molti aspetti della visione, ma più in particolare la visione Binoculare.
Questo mi ha indotto a formulare l'idea di voler incentrare la mia tesi finale proprio su questo aspetto, e di come potergli dare un'applicazione optometrica.
La risposta mi è stata data proprio durante il mio tirocinio, in cui ho incontrato un rappresentante di lenti oftalmiche che mi ha parlato di PASKAL 3D, un software, associato ad un App presente sullo store di IOS, sviluppato dalla IPRO GmbH, che consente di effettuare una refrazione monoculare in condizioni binoculari attraverso l'utilizzo di filtri a polarizzazione circolare anteposti agli occhi del soggetto per l'intera durata della misurazione, rendendo la visione più naturale rispetto a quella che è la realtà. Infatti nella normalità, la visione avviene attraverso l'elaborazione da parte del cervello di informazioni che provengono da due sorgenti differenti, cioè i nostri occhi, che danno 2 immagini distinte che vengono fuse in una dandoci la possibilità di vedere cosa c'è intorno a noi.
Prima di elaborare l'idea finale per la mia tesi, ho contattato l'azienda distributrice, la quale mi ha spiegato che PASKAL 3D è già una realtà molto diffusa soprattutto in Germania, dove già molti Optometristi lo utilizzano per le loro misurazioni.
L'azienda mi ha dato anche la possibilità di avere in comodato d'uso presso la mia Università la strumentazione necessaria per poter eseguire misurazioni con PASKAL 3D, e sviluppare un primo studio sull'efficacia di questa nuova metodologia.
Scopo di questa tesi è infatti quella di confrontare una refrazione classica, con l'occlusione di un occhio alla volta al fine di misurare l'acuità visiva e la correzione necessaria MONOCULARMENTE, con una metodologia di ultima generazione, cioè con PASKAL 3D, e di valutarne anche la sua efficacia.

Capitolo 1

Apparato visivo

I) Anatomia delle strutture refrattive dell'occhio:

L'occhio (Fig. 1.1), il nostro sistema visivo, è l'insieme di una serie di strutture coinvolte alla conversione della luce in informazioni visive. Ha forma sferoidale ed è assai complesso. E' il principale mezzo di acquisizione d'informazioni del corpo umano.

Principali parti anatomiche dell'occhio che intervengono nella convergenza e nella percezione della luce:

1) Cornea: è una struttura trasparente, avascolare, copre la superficie oculare per circa 1/6. È il principale mezzo rifrangente, infatti copre i 2/3 del potere refrattivo dell'occhio, dovuto principalmente per il fatto che essa si trova a contatto, con l'interposizione del film lacrimale, con l'aria, per cui gli indici di rifrazione sono maggiori (n= 1,376). La cornea ha la forma di una lente menisco negativa, e contribuisce alla formazione dell'immagine sulla retina con un potere positivo molto elevato (ca. 43 D) dato perlopiù dalla parte anteriore.[1]
2) Iride: membrana esile e pigmentata (può essere di diversi colori) posta dietro la cornea e anteriormente al cristallino. Presenta un foro al centro, detto pupilla, in grado di allargarsi o di restringersi in seguito a risposte di convergenza, accomodazione o illuminazione, per cui funge da "diaframma" per l'occhio.[2]
3) Cristallino: si trova sospeso dietro l'iride grazie alle fibre della zonula di Zinn. Ha la forma di una lente biconvessa. Può variare la sua curvatura, e di conseguenza il suo potere diottrico, attraverso la contrazione del muscolo ciliare a seconda delle necessità visive. Questa funzione è detta Accomodazione. (n=1,41)[3]
4) Retina: la più interna delle 3 tuniche che compongono l'occhio. In essa hanno sede i fotorecettori, cioè quelle cellule nervose in grado di rilevare la presenza di luce: a questo livello prende origine la sensazione visiva. Dopo la stimolazione dei recettori, il segnale che viene generato viene trasportato verso il cervello che decodifica e comprende il segnale attraverso il nervo ottico.[4]

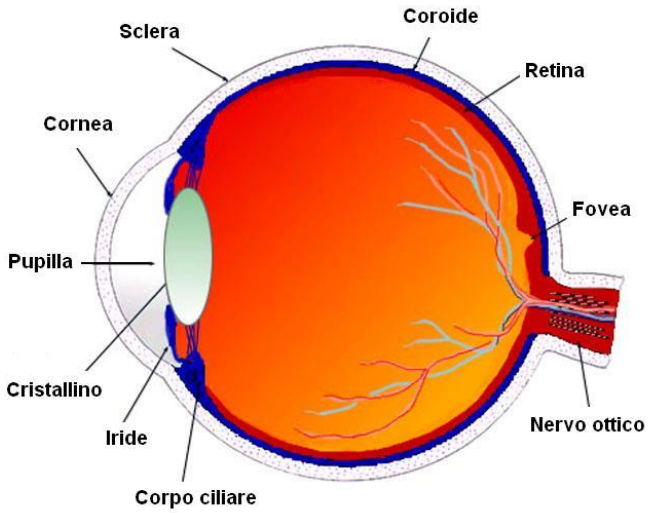

Fig. 1.1 Rappresentazione del globo oculare

II) Visione binoculare e sterescopica: Percezione della profondità.

Nell'uomo gli occhi lavorano quasi in sincro, cosicché le due immagini proveniente dalle due retine vengono elaborate dalla psiche ricavandone una di qualità superiore.
La luce riflessa proveniente dal mondo che ci circonda passa attraverso la cornea che ha il compito di concentrare i fasci luminosi e orientarli verso il centro della retina.
Dopodiché la luce passa attraverso il cristallino, che si contrae o si rilassa a seconda della distanza a cui deve mettere a fuoco, e viene ulteriormente filtrata e depurata di eventuali anomalie dal corpo vitreo e raggiunge infine la retina. Il procedimento sopra descritto è valido per ciascun occhio. [5]
Il cervello riceve quindi attraverso i nervi ottici due immagini della stessa scena ma leggermente differenti l'una dall'altra. Questo avviene perché gli assi visivi dei nostri occhi non sono paralleli, dovuto al fatto che i 2 occhi occupano spazi diversi, e permettono di osservare un oggetto da due punti di vista differenti; in un secondo momento il cervello si occuperà di unificare queste due viste diverse e ci fornirà un'immagine tridimensionale completa. Però il presupposto principale, affinché avvenga la fusione, e che le zone della retina colpite dalla luce siano "corrispondenti".[6]
L'apparato visivo umano è caratterizzato quindi da una visione binoculare, che implica la presenza di due occhi allineati i cui assi visivi sono rivolti in una particolare direzione non troppo divergente tra loro. La parte finale dell'apparato visivo è costituito dal cervello, in particolare da una zona della corteccia cranica che ha il compito di unificare le visioni stereoscopiche degli occhi in un'unica immagine fornendo una visione del mondo unica, detta visione ciclopica, infatti, il nostro cervello vede come se avessimo un solo occhio, idealmente posto al centro tra i due occhi, un po' più indietro.[7]
In conclusione, l'attività dell'apparato muscolare estrinseco e l'organizzazione retino-corticale collaborano per formare due immagini retiniche sovrapponibili e fondibili in una.

III) Basi visive della stereopsi

a) I 3 gradi della visione binoculare:

Durante la visione binoculare si presentano, distinguibili in 3 gradi fondamentali della percezione binoculare:

1 Percezione simultanea: si intende la capacità da parte del cervello di percepire contemporaneamente le immagini dei due occhi proveniente da zone della retina non corrispondenti. Essa presuppone l'assenza del fenomeno della "soppressione", cioè l'esclusione di un'immagine da parte del cervello, facendocene percepire una soltanto. Può essere verificata con il test del prisma verticale
2 Fusione: la fusione può essere MOTORIA, e implica l'attività da parte dei muscoli estrinseci di movimenti atti a posizione su aree corrispondenti l'immagine da percepire, e SENSORIALE, cioè la capacità di ricavare da due immagini retiniche simile una immagine singola. Può essere verificata col test del filtro rosso e una mira luminosa bianca.
3 Stereopsi: a causa del fatto che gli occhi sono posizionati lungo l'orizzontale su punti diversi, le due immagini percepite dal cervello hanno delle leggere differenze, quindi in condizioni fisiologiche esiste un certo spostamento o disparità retinica binoculare orizzontale. Nonostante ciò le due immagini vengono fuse, e proprio

questa disparità viene sfruttata per avere informazioni riguardanti la profondità e la posizione nello spazio dell'oggetto in interesse. Questa capacità è detta stereopsi.[8]

b) Il processo visivo in condizioni binoculari

Il processo visivo inizia con la fissazione sulla fovea di entrambi gli occhi concentrati su uno stesso punto nello spazio. I punti immagine che si formano a livello retinico vengono interpretati come se fossero frontali. Tutti gli oggetti compresi all'interno della porzione binoculare del campo visivo cadono su punti retinici corrispondenti, ovvero punti che hanno la stessa direzione visuale e che inviano i loro impulsi nervosi allo stesso punto nella corteccia visiva, fanno sì che il cervello possa interpretarli come un'unica immagine, dando luogo alla fusione sensoriale.

c) Oroptero

Quando entrambi gli occhi fissano un determinato punto nello spazio, esistono altri punti che formano immagini su aree retiniche corrispondenti e vengono visti singolarmente. L'insieme di questi punti è chiamato oroptero (Fig. 1.2).
Ne esistono di 2 tipi: uno teorico a forma di cerchio di Vieth-Muller, e uno empirico, di forma conica, che viene determinato sperimentalmente.
Poiché i punti sull'oroptero stimolano aree corrispondenti delle retine, e sono fusi in un'unica immagine, i punti posizionati al di fuori di quel luogo geometrico vengono visti sdoppiati, cioè danno origine a diplopia fisiologica.
Otticamente, l'occhio crea sulla retina delle immagini capovolte e invertite, per cui la localizzazione del punto osservato e diametralmente opposta all'area stimolata.
Per cui, un punto posto oltre l'oroptero, cioè oltre il luogo d'incrocio delle direzioni visive, stimola aree retiniche non corrispondenti, creando una diplopia fisiologica di tipo "omonimo", cioè le immagini dell'oggetto verranno localizzate dallo stesso lato dell'occhio che le ha create. Viceversa, per punti posti tra il soggetto e l'oroptero, si darà origine a diplopia di tipo "crociato".[9]

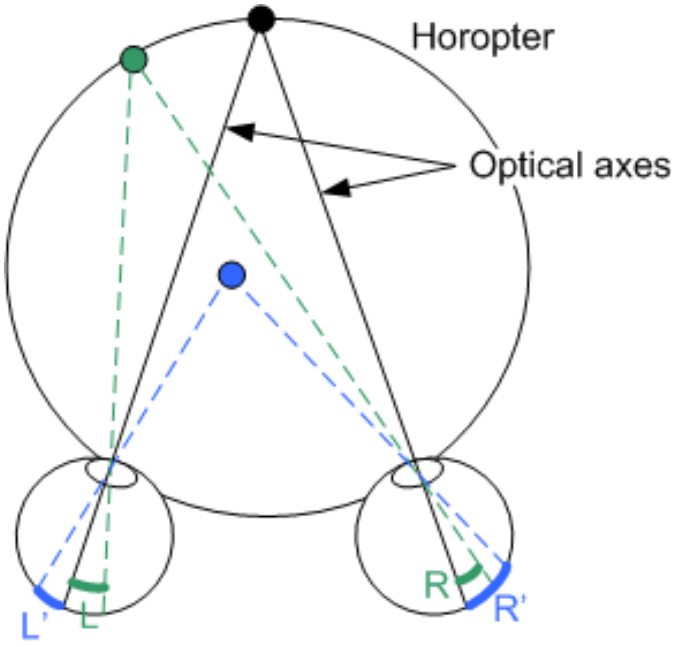

Fig. 1.2 Rappresentazione schematica dell'oroptero

d) Disparità di fissazione e area di Panum

Una minima differenza nella fissazione è spesso presente, cioè gli occhi non si allineano perfettamente sul punto da osservare. Per cui abbiamo un occhio che riesce a fissare perfettamente l'oggetto in questione, mentre l'altro occhio non dirige lo sguardo esattamente verso lo stesso punto. Tale differenza è denominata "disparità di fissazione".
Ciononostante, anche la zona periferica della figura viene fusa, grazie ad una particolare tolleranza.
Attorno all'oroptero esiste, appunto, un volume di tolleranza detto "area di Panum" (Fig. 1.3), cioè quella zona dove, anche se vengono stimolati punti retinici non corrispondenti, si ha comunque fusione sensoriale, per cui il cervello risponde agli stimoli fornendo un'unica immagine.
Quando invece la disparità di fissazione va oltre l'area di Panum, la percezione risultante sarà di diplopia.[10]

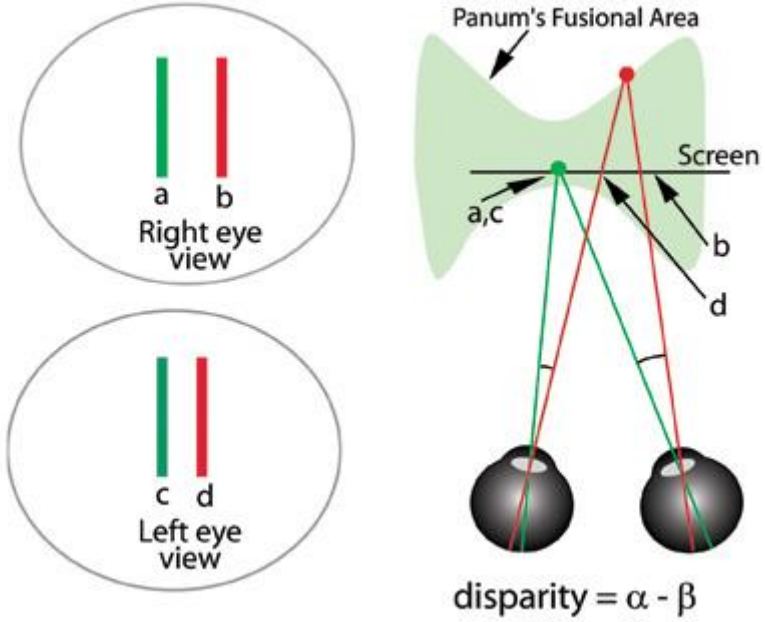

Fig 1.3 Rappresentazione Grafica dell'Area di Panum

Capitolo 2

Stereoscopia

I) Definizione, storia e principali utilizzi

La stereoscopia è una tecnica di realizzazione e di visione di immagini, fotografie e video atta a trasmettere l'illusione di tridimensionalità, quasi come quella generata dalla visione binoculare del sistema visivo.

Fu introdotta nel 1832 da Sir Charles Wheatstone, avendo poi applicazioni nella fotografia, ha trovato poi ulteriori sviluppi nel cinema e nell'intrattenimento in generale.
Dall'iniziale utilizzo di procedimenti chimici e strumenti ottici, dopo l'avvento dell'informatica, sono state sviluppate e introdotte anche tecnologie che utilizzano dispositivi elettronici digitali per la visione e la ripresa di immagini tridimensionali.

Durante la prima metà dell'Ottocento sir Charles Wheatstone realizza i primi esperimenti stereoscopici con coppie di disegni affiancati così da poter riprodurre due immagini leggermente differenti come quelle percepite dall'occhio umano . Nel 1838 pubblica un trattato sulla visione binoculare, dovuta al differente posizionamento delle due immagini percepite da ogni occhio. Illustra il testo con le sue coppie di disegni stereoscopici: i primi stereogrammi.

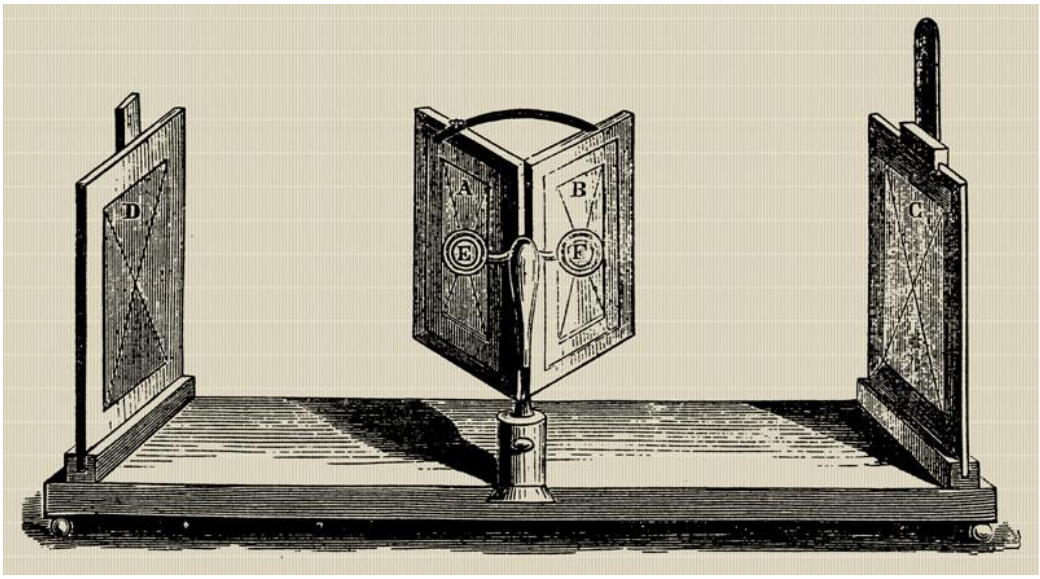

Fig 2.1 Lo stereoscopio a specchi di Charles Wheatstone

Per la visualizzazione di questi primi disegni "stereografici" Wheatstone utilizza uno strumento ottico basato su un sistema di specchi e prismi, lo stereoscopio a specchi (Fig 2.1). Guardando queste immagini bidimensionali, era così possibile sperimentare l'illusione della profondità tridimensionale. Wheatstone lo chiamò *Stereoscope*.

Nel 1838 Wheatstone presenta il primo stereoscopio così realizzato alla Royal Society di Londra, il quale però non riscontra un grande successo, poiché complesso e ingombrante, si dovrà infatti attendere il 1849 quando sir David Brewster, che aveva già brevettato il caleidoscopio, realizza un più leggero e maneggevole stereoscopio (Fig. 2.2): si tratta di un

"binocolino" dotato di lenti attraverso cui guardare una coppia di fotografie, realizzate con due fotocamere affiancate, poste all'altra estremità dell'apparecchio.[11]

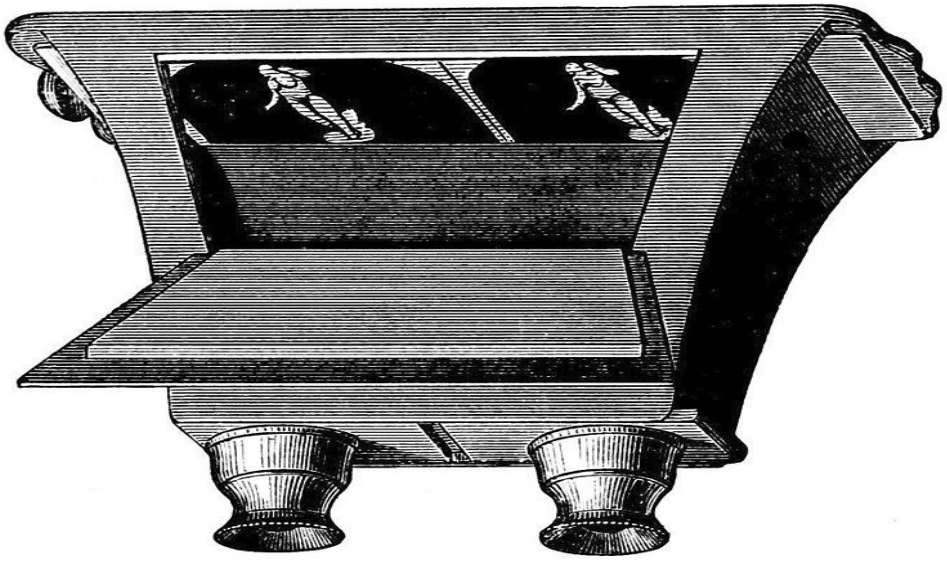

Fig 2.2 Lo stereoscopio di David Brewster

Nel XX secolo la stereoscopia si sviluppa in più campi. Lo stereoscopio ottocentesco che utilizza stereogrammi su carta scompare quasi completamente dalla scena (sopravvive sotto forma di giocattolo economico), al suo posto si sviluppa lo stereoscopio che si serve di diapositive su pellicola fotografica, e che ha come pionieri il Tru-Vue e, soprattutto, il View-Master. Agli inizi del XX secolo si cercano inoltre strade per la visione stereoscopica senza l'ausilio di alcun dispositivo ottico supplementare, quali lo stereoscopio o gli occhiali, attraverso dei sistemi autostereoscopici che sfruttino la barriera di parallasse e lo schermo lenticolare. Parallelamente alla nascita e allo sviluppo sempre maggiore del cinema, si fa strada il cinema stereoscopico, che a fasi alterne sperimenta varie tecnologie e sistemi. La stereoscopia trova inoltre applicazioni nei fumetti (attraverso l'anaglifo (Fig 2.3)), nella televisione, e in numerosi altri campi.

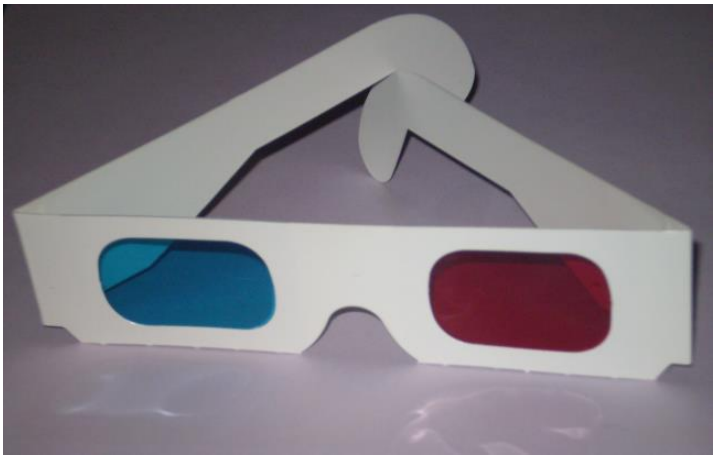

Fig 2.3 Occhialini per anaglifo in cartoncino

Un anaglifo è un'immagine stereoscopica, che, se osservata mediante appositi occhiali dotati di due filtri di colore complementare l'uno rispetto all'altro (di solito ciano per l'occhio destro, e rosso per l'occhio sinistro), fornisce un'illusione di tridimensionalità.[12]

L'anaglifo è tornato recentemente in voga grazie al suo utilizzo per la presentazione di immagini stereoscopiche su Internet, in DVD, Blu-ray, CD e nella stampa. L'utilizzo del filtro ciano permette la visione di immagini colorate, con una buona resa anche delle tonalità della pelle.

Ciò che permette ai nostri occhi di percepire la realtà a tre dimensioni, è la visione binoculare (Fig 2.4). Gli occhi vedono lo stesso soggetto da due posizioni differenti (a distanza di circa 6 cm. l'una dall'altra), il cervello unisce queste due immagini ed elabora la profondità.

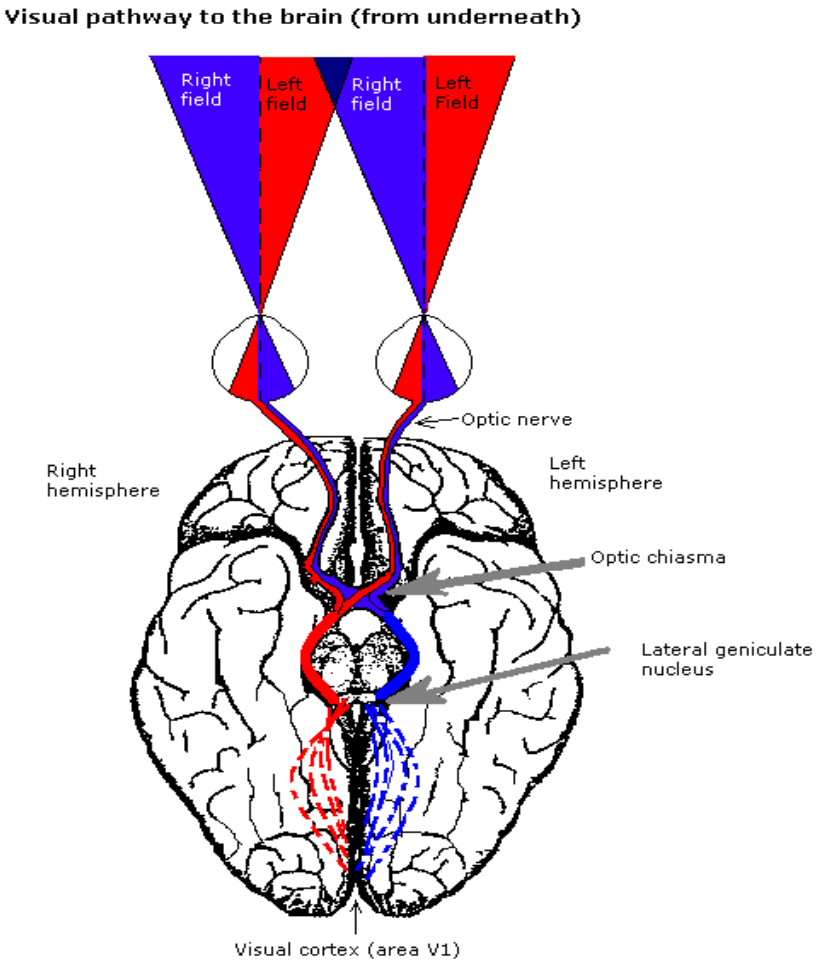

Fig 2.4 Visione Binoculare negli essere umani

Semplicemente sovrapponendo le due immagini il cervello può alla fine valutare la distanza degli oggetti percepiti.

Per poter riprodurre l'effetto proprio della visione binoculare è perciò necessario creare una illusione, l'illusione stereoscopica, per creare la quale è necessario disporre di due immagini del medesimo soggetto riprese alla stessa distanza ma scostate lateralmente con uno scarto pari alla distanza binoculare (stereoscopia naturale) o ad una maggiore o minore distanza (stereoscopia artificiale).

Le immagini così create dovranno essere poi guardate, con appositi ausili tecnici quali ad esempio possono essere i visori stereoscopici o gli occhiali 3-D (Fig 2.5).

Il cinema tridimensionale (noto anche come cinema 3-D o cinema stereoscopico) è un tipo di proiezione cinematografica, che grazie ad alcune specifiche tecniche di ripresa, fornisce una visione stereoscopica delle immagini. Per la corretta fruizione sono necessari accorgimenti tecnici sia per la proiezione (sono necessari appositi dispositivi quali proiettori e talvolta schermi dedicati), che per la visione (occhiali).

I primi film 3-D, a partire dagli anni venti, sfruttano il sistema dell'anaglifo. Dagli anni cinquanta, durante i quali il cinema tridimensionale ha la sua prima ampia diffusione, il sistema più diffuso sfrutta la tecnica della luce polarizzata. Attualmente le due tecniche utilizzate sono quelle della luce polarizzata, e quella degli otturatori alternati o shutter glasses, alla quale appartengono gli occhiali elettronici a cristalli liquidi.

Fig 2.5 Occhiale 3D

Attualmente la proiezione stereoscopica viene applicata in prevalenza a film d'animazione, film d'azione o dove è più grande la necessità dell'"effetto speciale" per il coinvolgimento sensoriale del pubblico.[13]

Capitolo 3

La Luce

I) La Luce

Il termine luce (dal latino lux) si riferisce alla porzione dello spettro elettromagnetico visibile dall'occhio umano, approssimativamente compresa tra 400 e 700 nanometri di lunghezza d'onda, ovvero tra 790 e 435 THz di frequenza. La presenza contemporanea di tutte le lunghezze d'onda visibili, in quantità proporzionali a quelle della luce solare, forma la luce bianca.

La luce, come tutte le onde elettromagnetiche, interagisce con la materia. I fenomeni che più comunemente influenzano o impediscono la trasmissione della luce attraverso la materia sono: l'assorbimento, la diffusione (scattering), la riflessione speculare o diffusa, la rifrazione e la diffrazione. La riflessione diffusa da parte delle superfici, da sola o combinata con l'assorbimento, è il principale meccanismo attraverso il quale gli oggetti si rivelano ai nostri occhi, mentre la diffusione da parte dell'atmosfera è responsabile della luminosità del cielo e del suo caratteristico colore azzurro.

Sebbene nell'elettromagnetismo classico la luce sia descritta come un'onda, l'avvento della meccanica quantistica agli inizi del XX secolo ha permesso di capire che questa possiede anche proprietà tipiche delle particelle e di spiegare fenomeni come l'effetto fotoelettrico. Nella fisica moderna la luce (e tutta la radiazione elettromagnetica) viene composta da unità fondamentali, o quanti, di campo elettromagnetico chiamati fotoni.

II) La polarizzazione della luce

Un'onda elettromagnetica che si propaga è caratterizzata dall'oscillazione del campo elettrico e magnetico.
Questi campi sono caratterizzati da vettori che ne indicano direzione, intensità e verso.
Le onde elettromagnetiche sono trasversali nel senso che le direzioni dei vettori elettrici E e magnetici B sono perpendicolari alla direzione di propagazione dell'onda.
Convenzionalmente si definisce piano di vibrazione V quello in cui oscilla il vettore campo elettrico, e quello di polarizzazione P quello ad esso perpendicolare, che poi è quello in cui oscilla il vettore campo magnetico.

Nelle sorgenti di luce ordinaria, cosi come nella luce naturale le onde elettromagnetiche prodotte da ciascun atomo non hanno alcun rapporto con quelle emesse dagli altri atomi, quindi il processo di emissione è del tutto casuale.
In pratica essendo possibili tutte le direzioni di vibrazione, l'onda elettromagnetica delle singole sorgenti atomiche, il risultato è quello che definiamo onda non polarizzata. Vi sono però alcune sorgenti in cui gli atomi emettono radiazione in un piano di oscillazione del campo elettrico e quindi i relativi piani di P sono tutti paralleli. In tal caso si dice che la radiazione è linearmente polarizzata.

Consideriamo un'onda elettromagnetica piana: i campi elettrico e magnetico sono rappresentati nel dominio della frequenza dalle seguenti espressioni:

$$E = \hat{e}E_0 e^{i(k\cdot r-\omega t+\varphi)}$$
$$B = \hat{k} \times \hat{e}B_0 e^{i(k\cdot r-\omega t+\varphi)}$$

Il vettore **ê** indica la direzione di oscillazione del campo elettrico ed è detto vettore polarizzazione. È importante ricordare **ê** è ortogonale al vettore d'onda **k** cioè alla direzione di propagazione; lo stesso vale per **k x ê**, cioè per la direzione di oscillazione del campo magnetico.[14][15]

III) Polarizzazione lineare e circolare

Se il vettore **ê** ha tutte le componenti reali allora la radiazione si dice polarizzata linearmente.

Consideriamo quindi due onde piane, di uguale ampiezza, polarizzate linearmente lungo due direzioni ortogonali, **ê'** ed **ê''** e sfasate di mezzo periodo, e sommando i due campi elettrici:

$$\hat{e} = \frac{\hat{e}' + \hat{e}'' e^{\pm i\pi/2}}{\sqrt{2}} = \frac{\hat{e}' \pm i\hat{e}''}{\sqrt{2}}$$

L'onda risultante è una radiazione elettromagnetica in cui l'intensità del campo elettrico, in un punto fissato, non varia ma la sua direzione ruota con frequenza angolare $\boldsymbol{\omega}$. La rotazione è in senso orario (polarizzazione circolare sinistra) per il segno + e antiorario (polarizzazione circolare destra) per il segno - se la si vede dalla punta del vettore d'onda, ovvero del verso di propagazione, e così abbiamo ottenuto una polarizzazione circolare.

Per convertire la polarizzazione della radiazione elettromagnetica che lo attraversa da lineare a circolare, e viceversa, si utilizza una lamina quarto d'onda.[16][17]

I Filtri a polarizzazione circolare vengono appunti utilizzati con il metodo PASKAL 3D. Essi vengono anteposti al soggetto (su occhialino di prova o con forottero) durante tutta la misurazione, cosicché il soggetto veda immagini separate per l'occhio destro e per l'occhio sinistro, permettendo di avere entrambi aperti al fine di consentire un'intera refrazione monoculare in condizioni binoculari.

Capitolo 4

Test e Strumentazione utilizzata

I) Presentazione

Nel nostro lavoro di tesi, faremo un confronto tra 2 metodologie di refrazione. La prima, classica con l'utilizzo di un occlusore, proseguendo poi con un controllo completo dell'efficienza e dell'acuità visiva in monoculare, e, di seguito, dopo una serie di test discriminanti per valutare la capacità da parte del soggetto di fondere in maniera adeguata gli stimoli visivi, di nuovo un controllo completo attraverso l'utilizzo di filtri a polarizzazione circolare che permettono di effettuare una refrazione monoculare in condizioni binoculari, con l'aiuto di un'App sviluppata per IOS e installata su IPad Apple denominata PASKAL 3D. Sono state tralasciate altre metodiche per non avere troppe variabili in gioco.

Entrambe le valutazioni saranno effettuate utilizzando lo stesso ottotipo, nel caso specifico un Monitor 3D 42'' Technisat.

Sono stati presi in considerazione soggetti dai 18 anni in poi, al fine di avere già buona maturazione visiva, che già portino correzione, e che abbiano effettuato un controllo visivo (effettuato da oculista o da un optometrista) negli ultimi 12 mesi, per non avere risultati troppo diversi dalla correzione in uso.

Scopo dello studio è valutare l'efficacia e la precisione di questo nuovo metodo di refrazione, andando ad ottimizzare la correzione in uso dapprima con il metodo con occlusione, rilevando la massima acuità visiva, e confrontando la prescrizione con quella che risulterà poi con il metodo con i filtri polarizzanti, a parità di Acuità Visiva.[14]

II) PASKAL 3D

IPRO PASKAL 3D-Refrazione oculare è un sistema di refrazione che consente l'intera refrazione monoculare in condizioni binoculari. Attraverso la polarizzazione circolare, il paziente vede, durante l'intera refrazione, immagini separate per l'occhio sinistro e quello destro. La separazione ha luogo nel forottero e negli occhiali campione attraverso dei filtri a polarizzazione circolare. Per la rappresentazione degli ottotipi si utilizza un monitor 3D, che separa le immagini in righe mediante polarizzazione circolare.

PASKAL 3D-Refrazione oculare è un sistema di refrazione reso pubblico nell'anno 2014 da IPRO GmbH. La differenza rispetto ai sistemi di refrazione utilizzati fino a oggi risiede principalmente nella misurazione binoculare durante l'intero ciclo di refrazione, resa possibile attraverso un filtro a polarizzazione circolare che rimane permanentemente davanti agli occhi del soggetto. La rappresentazione dell'ottotipo ha luogo su un monitor 3D di almeno 32'', fissato sulla parete dello studio di refrazione. Oltre alla serie di test standard fornita, l'utente può creare delle serie personalizzate dai 80 test visivi compresi.

Fig 4.7 Schema riassuntivo per la sincronizzazione della strumentazione PASKAL 3D

Per eseguire la refrazione con PASKAL 3D (Fig 4.7), oltre alla soluzione software stessa, sono necessari dei componenti hardware. Il programma è stato progettato come app per Apple iPad (Fig 4.8), il quale, pertanto, è indispensabile. Per la trasmissione allo schermo 3D è necessario un set top box di nome Apple TV (Fig 4.9). Per poter collegare wireless l'Apple iPad con l'Apple TV, è necessario un router con WLAN ad alte prestazioni[18]

Fig 4.8 Apple TV

Fig 4.9 IPad Apple

III) Test utilizzati

Per entrambe le esperienze verranno utilizzati gli stessi test, che fanno parte dei test standard per la valutazione l'efficienza e l'acuità visiva;

a) Test dell'acuità visiva (Fig 4.1)

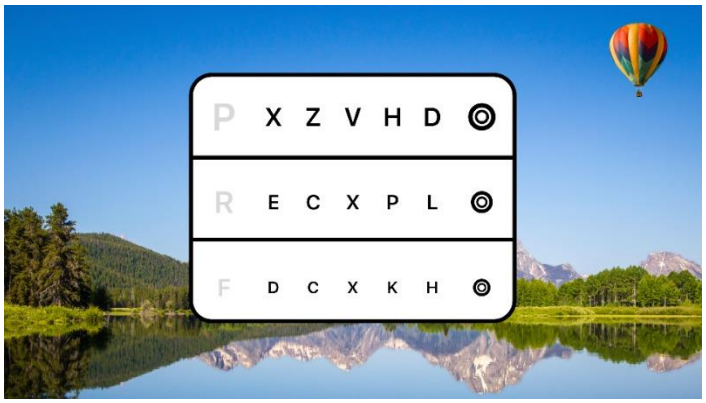

Fig. 4.1 Test Acuità Vsiva

Test che valuta la capacità visiva del soggetto con la correzione in uso, e per un eventuale correzione della sfera, fino a raggiungere la massima acuità visiva del soggetto. Effettuato sia in mono che in binoculare.

b) Test bicromatico (Fig 4.2)

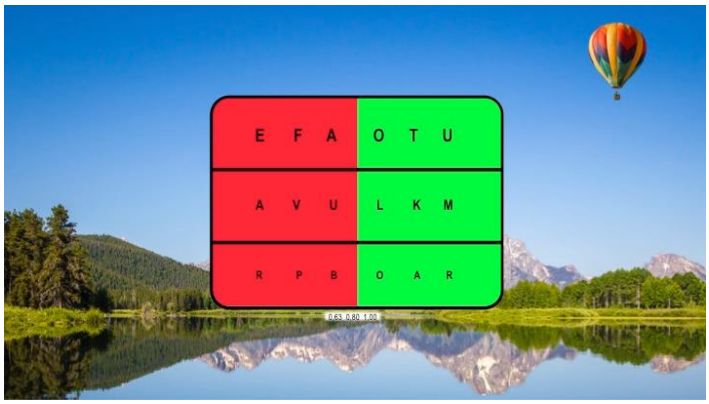

Fig 4.2 Test bicromatico

Test che viene utilizzato per il bilanciamento finale del potere sferico della correzione. Viene effettuato sia in mono che in binoculare.

c) Test della mira a pallini (Fig 4.3)

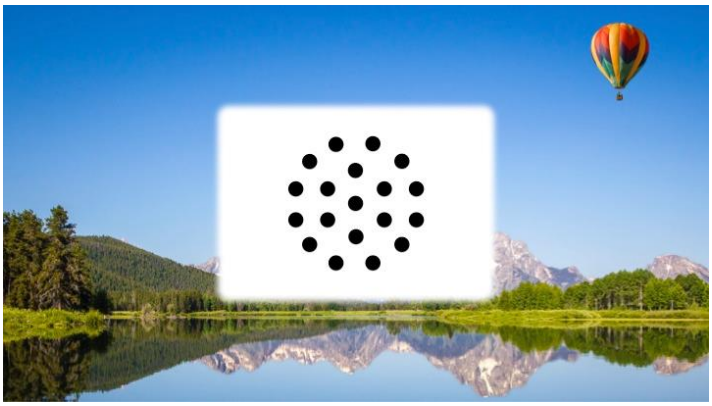

Fig 4.3 Test della mira a pallini

Test per la valutazione dell'asse e del potere del cilindro, utilizzando il cilindro crociato.

d) Test della dominanza (Fig. 4.4)

Fig 4.4 Test della dominanza

Senza dire nulla al soggetto, gli viene chiesto quale animale ci sia all'interno della mongolfiera (cane o gatto), e a seconda della risposta si avrà dominanza sull'occhio destro o il sinistro.[19]

IV) Test discriminanti

Affinchè non si abbiano dubbi sull'efficacia dei test sottoposti con l'utilizzo dei filtri polarizzanti del metodo PASKAL 3D, vengono effettuati i 3 test della fusione, per verificare la capacità di fusione e di stereopsi del soggetto.
Questi test saranno sottoposti al soggetto utilizzando un forottero manuale, e come sorgente sempre lo stesso monitor 3D utilizzato in entrambe le misurazioni.

a) Test Punto luminoso (Fig 4.5)

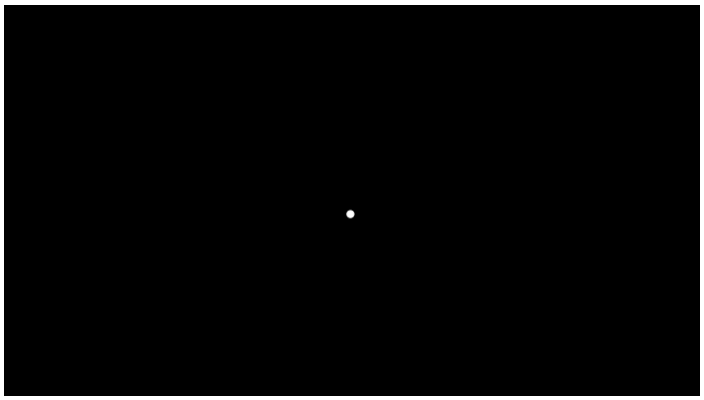

Fig 4.5 Test punto luminoso

Viene sottoposta la stessa mira sia per il primo grado della fusione (test della diplopia, utilizzando un prisma verticale di 6D), che il secondo grado della Fusione (test del filtro rosso, anteponendo un filtro rosso all'occhio destro).

b) Test delle luci di Worth (Fig 4.6)

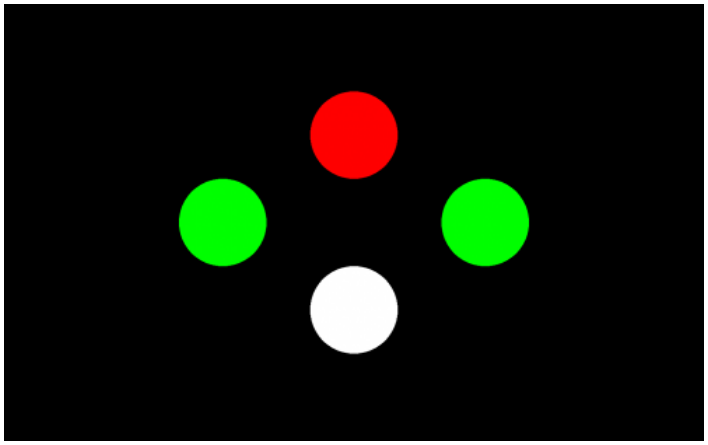

Fig 4.6 Test delle luci di Worth

Vengono anteposti sia il filtro rosso che il filtro verde per la valutazione della stereopsi.[20]

Se, alla fine di questi test, il soggetto possiede una buona visione binoculare, bioculare e un buon grado di stereopsi, e non presenta forie/tropie rilevanti che possano compromettere la fusione, si può procedere con il metodo di rilevazione della correzione con i filtri a polarizzazione circolare.

Capitolo 5

I) Risultati

Per il lavoro di tesi, sono stati analizzati 20 soggetti, tra i 21 e i 40 anni di età.

Sono state prese in considerazione la correzione in uso dei soggetti in esame, i quali hanno effettuato un controllo visivo entro i 12 mesi dal test, l'acuità visiva abituale della correzione in uso monoculare, l'acuità visiva monoculare dopo un controllo completo con il metodo con occlusione e l'acuità visiva monoculare dopo un controllo completo con PASKAL 3D, e le eventuali variazioni dei poteri diottrici sferici e cilindrici delle correzioni finali.

Qui di seguito gli schemi riassuntivi delle varie misurazioni:

Variazione Acuità Visiva
(i valori numerici indicano l'AV in decimi)

	Variazione acuità visiva					
	AV Abituale		AV Occlusione		AV Paskal 3D	
	OD	OS	OD	OS	OD	OS
1	8	8	8	8	8	8
2	10	9	10	10	10	10
3	8	8	12	12	12	12
4	6	6	10	10	10	10
5	12	12	12	12	12	12
6	8	8	12	12	12	12
7	9	9	11	11	11	11
8	7	6	10	10	10	10
9	12	12	12	12	12	12
10	10	8	10	10	10	10
11	8	12	8	12	8	12
12	7	7	10	10	10	10
13	12	12	12	12	12	12
14	10	10	11	11	11	11
15	9	9	10	10	10	10
16	10	9	10	10	10	9
17	12	12	12	12	8	12
18	12	12	16	16	16	16
19	10	10	12	12	12	12
20	8	8	10	10	10	10

Tabella 1.1: viene evidenziata la Variazione di Acuità Visiva da quella abituale a quella post misurazione con occlusione e post misurazione con PASKAL 3D

Come si può notare nella Tabella 1.1, l'acuità visiva nella maggior parte dei casi o non subisce variazioni, quindi in quel caso il soggetto ha già un'acuità visiva massima, o ha dei miglioramenti dovuti al cambio della correzione.

Alcuni casi particolari e che hanno suscitato il mio interesse per la particolarità della situazione che si è venuta a creare durante la refrazione, sono evidenziati in giallo nella Tabella 1, i quali saranno valutati nello specifico successivamente quando osserveremo anche la variazione diottrica.
Nel Grafico 1, possiamo notare come l'Acuità Visiva ottenuta con il metodo a occlusione e il quella ottenuta con PASKAL 3D siano quasi sempre equivalenti, che può essere considerata come un primo indizio sull'efficacia del metodo, in quanto otteniamo un primo risultato riscontrabile.

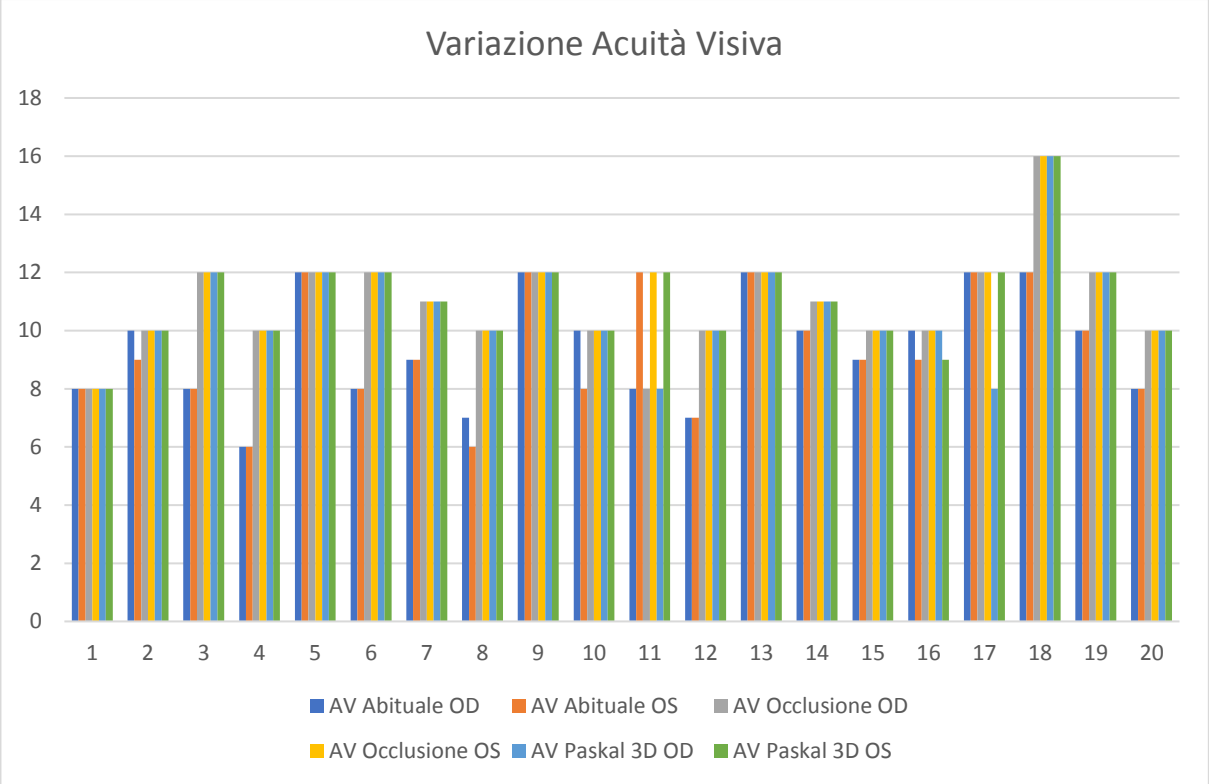

Grafico 1: evidenzia la variazione dell'acuità visiva in tutti i casi per entrambi gli occhi

Variazione Potere Diottrico Sferico:

	Variazione Potere Diottrico Sferico					
	Sfera Abituale		Sfera Occlusione		Sfera Paskal 3D	
	OD	OS	OD	OS	OD	OS
1	-3.75	-3.25	-3.75	-3.25	-3.5	-3
2	-0.25	0	-0.25	0	0	0
3	0.5	0.5	0	0	0	0
4	-1.5	-1.75	-2.5	-2.25	-2.25	-2
5	0.5	0.25	0.5	0.25	0.5	0
6	0.75	0.75	1	1	1	0.75
7	-0.75	-0.5	-0.75	-1	-0.75	-1
8	-0.25	-0.25	0	0	0	0
9	-0.5	0	-0.5	0	-0.5	0
10	-3	-2.5	-2.75	-2.5	-2.75	-2.5
11	2.25	0	2.25	0	2.25	0
12	-1.5	-1.5	-1.5	-1.75	-1.5	-1.75
13	0	0.25	0	0.25	0	0
14	-1	-1	-1.25	-1.25	-1.25	-1.25
15	0	0	0	0	0	0
16	0	-0.25	0	0	0	-0.25
17	-3	-1.25	-3	-1.25	-2	1.25
18	0.5	0.5	0.25	0.25	0.25	0
19	0.5	0.25	0	0	0	0
20	2.75	3.75	3.25	4.25	3.25	3.75

Tabella 2: Viene evidenziata la variazione di potere diottrico sferico da quella abituale rispetto alle misurazioni effettuare con metodo con occlusione e con PASKAL 3D

Per quando riguarda la correzione sferica, dalla Tabella 2 notiamo che nella maggior parte dei casi abbiamo avuto un aumento nella prima rilevazione con metodo con occlusione, con un conseguente aumento dell'acuità visiva, con pochi casi di ipercorrezione che hanno avuto bisogno di una diminuzione del potere diottrico. Dopodichè, nella successiva misurazione con PASKAL 3D, è interessante notare come nel circa 30% dei casi, la correzione sferica con il metodo sia inferiore di 0.25 (a volte binoculare, a volte monoculare) rispetto alla rilevazione precedente, raggiungendo la stessa acuità visiva, mentre c'è stato un solo caso in cui c'è stato un aumento, il numero 16, che valuteremo successivamente, perché la variazione coinvolge anche la componente cilindrica

Il Grafico 2 mostra come nella misurazione con PASKAL 3D ci possano a volte essere delle differenze di potere diottrico sferico rispetto alla misurazione con metodo con occlusione

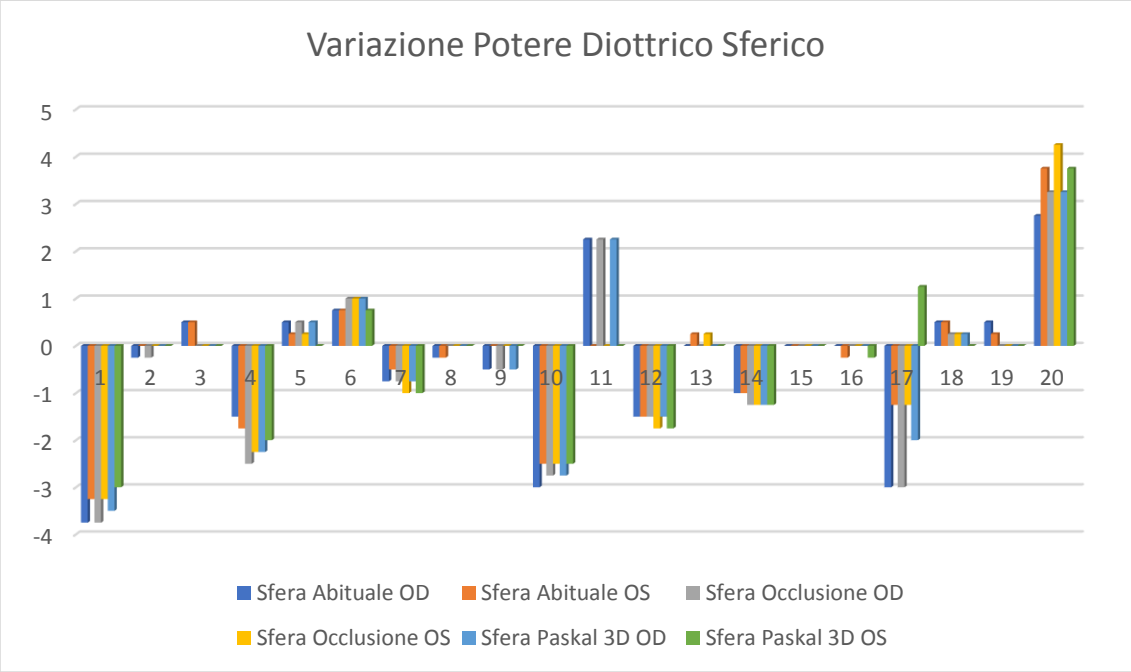

Grafico 2: Evidenzia la variazione del potere diottrico sferico in tutti i casi per entrambi gli occhi

Variazione Potere Diottrico Cilindrico:

	Variazione Potere Diottrico Cilindrico					
	Cilindro Abituale		Cilindro Occlusione		Cilindro Paskal 3D	
	OD	OS	OD	OS	OD	OS
1	0	0	0	0	0	0
2	0	-0.5	0	-0.75	0	-0.5
3	0	0	-1	-1	-0.75	-0.75
4	-0.5	0	-0.5	-0.25	-0.5	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	-0.25	-0.5	-0.25	-0.25
7	0	0	-0.75	0	-0.5	0
8	-0.5	-1	-0.75	-1.5	-0.75	-1.25
9	0	-1	0	-1	0	-0.75
10	0	-0.25	-0.5	-0.75	-0.25	-0.5
11	-3.5	1.25	-3.5	1.25	-3.5	1
12	-0.5	-0.5	-1.5	-1.5	-1.25	-1.25
13	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
14	0	0	0	0	0	0
15	-0.75	-0.75	-1.25	-1.25	-1	-1
16	-3.75	-3.75	-3.75	-4.25	-3.75	-3.75
17	0	-0.5	0	-0.5	0	-0.5
18	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
20	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Tabella 3: : Viene evidenziata la variazione di potere diottrico cilindrico da quella abituale rispetto alle misurazioni effettuare con metodo con occlusione e con PASKAL 3D

Nel caso della variazione del potere cilindrico, dalla Tabella 3 si può evincere come in più del 50% dei casi c'è stato un aumento diotrrico o addirittura una prima correzione cilindrica nei casi in cui il soggetto non avesse potere cilindrico sul suo occhiale in uso, nella prima rilevazione.
Il dato più sorprendente però è che quasi il 100% dei casi, si è reso necessario un cilindro inferiore nella refrazione con metodo Paskal 3D, tra lo 0.25 allo 0.50 in meno, per ottenere la stessa acuità visiva.
Il Grafico 3 mostra nel dettaglio come ci sia un aumento o una prima correzione di potere cilindrico, e come esso sia quasi sempre inferiore con PASKAL 3D rispetto al metodo con occlusione

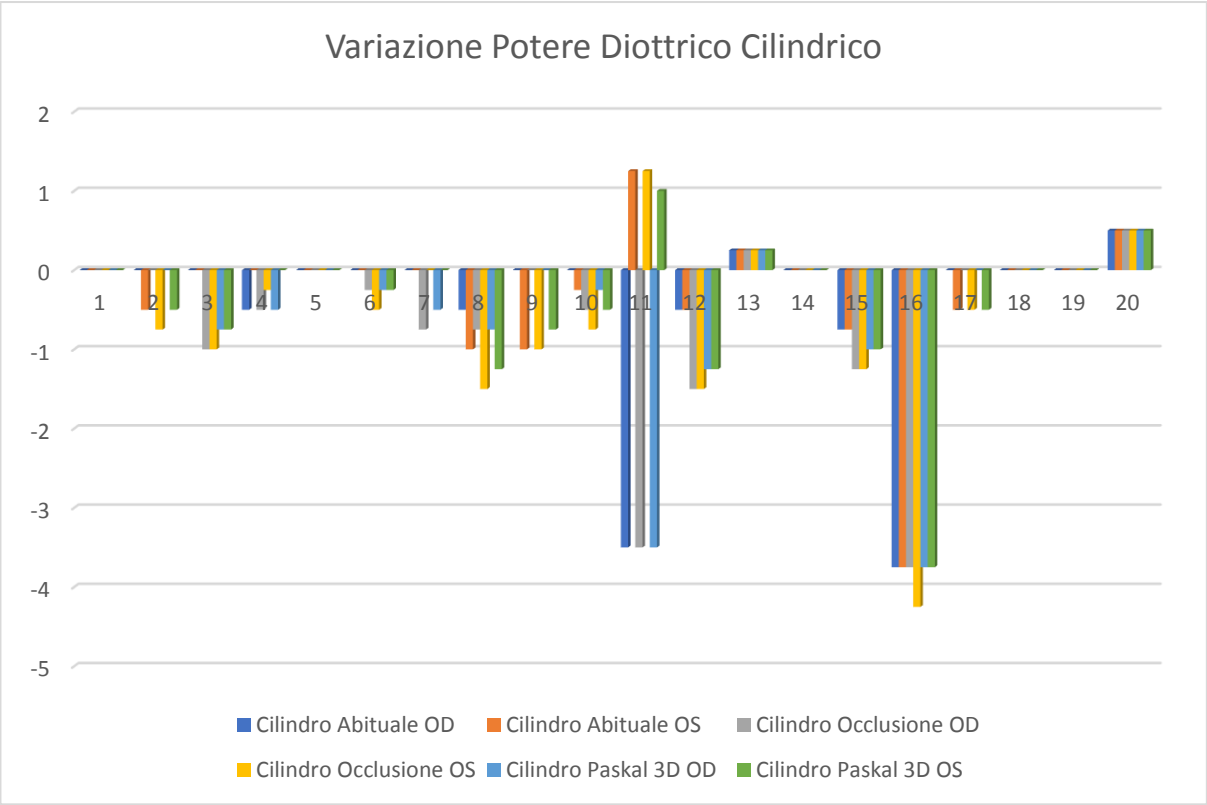

Grafico 3: Evidenzia la variazione del potere diottrico sferico in tutti i casi per entrambi gli occhi

II) Casi Particolari

Vedremo nello specifico alcuni casi particolari, evidenziati in precedenza nelle Tabelle 1, 2 e 3 che hanno suscitato la mia attenzione durante i test.

1) Soggetto n.6

Età: 39
Correzione in uso: Sf +0.75 OO
Dominanza: OD
AV Abituale. 8/10 OO
Autoref: OD +1.50 -0.75 @ 5 OS +1.5 -0.75 @160
Soggettiva Occlusione: OD +1.00 -0.25 @180
OS +1.00 -0.25 @160
Soggettiva Paskal 3D: OD +1.00 -0.25 @180
OS +0.75 -0.25 @160

In fase di refrazione con il metodo con occlusione, il soggetto su OS aveva una miglior percezione con Sf +1.00. Durante le refrazione con PASKAL 3D, egli necessitava sempre di Sf +1.00 su OS, ma in questo caso riferiva fastidio e correzione poco tollerata. Con Sf +0.75 su OS non avvertiva più fastidio senza avere un sostanziale abbassamente della percezione.

2) Soggetto n.11

Età: 25
Correzione in uso: OD +2.25 -3.50 @30
OS +1.25 @95
Dominanza: OS
AV Abituale. OD 8/10 OS 12/10
Autoref: OD +2.50 -4.50 @35 OS +1.50 -1.25 @180
Soggettiva Occlusione: OD +2.25 -3.50 @30
OS +1.25 @95
Soggettiva Paskal 3D: OD +2.25 -3.50 @30
OS +1.00 @95

Forte dominanza OS, forte anisometropia, ma non causa grossi problemi in fase di fusione. Su OD nessuna variazione in entrambi i casi, su OS in metodo Paskal 3D preferisce un cilindro più basso, la visione è più confortevole senza alterare l'acuità visiva.

3) Soggetto n.16

Età: 25
Correzione in uso: OD -3.75 @180
OS -0.25 -3.75 @170
Dominanza: OD
AV Abituale. OD 10/10 OS 9/10
Autoref: OD +0.50 -4.00 @175 OS +0.50 -4.50 @170
Soggettiva Occlusione: OD -3.75 @170
OS -4.25 @170

Soggettiva Paskal 3D: OD -3.75 @170
OS -0.25 -3.75 @170

Questo è uno dei pochi casi in cui dopo la refrazione con Paskal 3D abbiamo un aumento di sfera, però associato ad una diminuzione di componente cilindrica.
Con metodo con occlusione, il soggetto migliora la sua AV di 1/10 con -4.25. rispetto al -0.25 -3.75 che usava sulla sua correzione, ma nella refrazione con Paskal 3D la stessa correzione risultava fastidiosa e non tollerata dal soggetto, che preferisce la correzione in uso, peggiorando di 1/10 la visione monoculare, ma guadagnandone in comfort.

4) Soggetto n.17

Età: 35
Correzione in uso: OD -3
OS -1.25 -0.50 @180
Dominanza: OS
AV Abituale. OD 12/10 OS 12/10
Autoref: OD -3.50 OS -1.50 -0.75 @180
Soggettiva Occlusione: OD -3
OS -1.25 -0.50 @180
Soggettiva Paskal 3D: OD -2
OS -1.25 -0.50 @180

Forte dominanza OS, il Soggetto dopo diversi controlli presso diversi Oculisti, porta la correzione sopra riportata, ma riferisce di avere visione confusa e altalenante. Correzione confermata anche dal metodo ad occlusione. Con il metodo Paskal 3D invece il potere sferico OD diminuisce di 1 diottria, con conseguente perdita di 2/10 su OD, ma visione decisamente più confortevole e correzione più tollerata.

5) Soggetto n.20

Età: 37
Correzione in uso: OD +2.75 +0.50 @10
OS +3.75 +0.50 @180
Dominanza: OD
AV Abituale. OD 8/10 OS 8/10
Autoref: OD +4.00 +0.50 @10 OS +5.00 +0.50 @180
Soggettiva Occlusione: OD +3.25 +0.50 @10
OS +4.25 +0.50 @180
Soggettiva Paskal 3D: OD +3.25 +0.50 @10
OS +3.75 +0.50 @180

Forte dominanza OD, lieve aumento del potere sferisco OO con metodo a occlusione, con miglioramento AV, ma visione confusa con metodo Paskal 3D, diminuendo la Sfera al potere abituale di nuovo confort visivo, con perdita di 2/10 di AV.

III) Considerazioni Finali

Ritengo che, in base dati che ho raccolto e dei risultati che ho ottenuto, il metodo Paskal 3D, che permette una refrazione completa in condizioni di binocularità, sia utile ed efficace nella maggior parte delle situazioni, grazie anche alla moltitudine di test a disposizione e alla velocità e la precisione che si può ottenere, a meno che il soggetto non abbia disfunzioni della visione binoculare o nella fusione che ne compromettano la fattibilità della misurazione.

Inoltre bisogna considerare che tutti noi nella vita di tutti i giorni vediamo con due occhi aperti contemporaneamente, e, di conseguenza, il fattore ambientale può incidere molto sulla nostra percezione e sulla qualità della nostra visione. Infatti in molti casi le correzioni finali con Paskal 3D avevano poteri inferiori, proprio a dimostrare come i due occhi collaborino per avere una maggiore nitidezza, e non ci sia bisogno di correzioni più forti per avere la stessa acuità visiva.

Altro punto da considerare è che, in casi di forte dominanza in uno degli occhi, l'occhio dominato richieda minor correzione con il metodo Paskal 3D rispetto a quando l'occhio controlaterale è occluso (anche con grandi differenze), probabilmente perché è un occhio di solo supporto, per cui correzioni più forti possono indurre il cervello in confusione rendendo la visione non chiara o non tollerata.

Dopo le refrazioni ho anche fatto effettuare ai soggetti un piccolo sondaggio, chiedendo loro con quale metodo hanno preferito effettuare la misurazione, e quale fosse la correzione migliore nei 2 casi.
Il risultato è stato che quasi il 100% ha preferito il metodo Paskal 3D, anche se ritengo che questo risultato non possa avere valenza statistica (il risultato potrebbe essere stato falsato dal fatto che avesse maggiore interattività e/o alla sua stessa "novità"), ma che debba essere tenuto in considerazione.

Questi risultati possono fungere da punto di partenza per uno studio futuro riguardante un aspetto diverso della visione, oppure per analizzare ulteriori aspetti del PASKAL 3D.

Reputo comunque che questa possa essere la strada giusta da intraprendere per il benessere visivo della popolazione, al fine di ottenere sempre più precisione nelle refrazioni che effettuiamo, e ridurre al minimo i nostri errori ed elevare il livello professionale della nostra categoria.

Bibliografia

[19][20]Maiocchi A., (2007). Manuale Pratico per l'esecuzione di un esame visivo. Medical Books, Palermo.

[5][6][7][8][9][10]Rossetti A., Gheller P., (2003). Manuale di optometria e contattologia. Zanichelli, Bologna.

[3]Paliaga G. (2008). I Vizi Di Refrazione, Minerva Medica, Salluzzo.

[1][2][4]Calligaro A., Colombo R., De Pol A., (2005) Citologia e istologia funzionale. Edi. Ermes

[15][17]E. Hecth, Optics (4th Edition), Addison Wesley (2002)

Sitografia

[18]http://paskal3d.com/it/home/

[11]https://it.wikipedia.org/wiki/Stereoscopia

[12]https://it.wikipedia.org/wiki/Cinema_tridimensionale

[13]https://it.wikipedia.org/wiki/Alternate_Image

[14][16]https://it.wikipedia.org/wiki/Polarizzazione_della_radiazione_elettromagnetica#Polarizzazione_lineare_e_circolare

Ringraziamenti

Ringrazio per primi, per l'estrema gentilezza e disponibilità, i professori Sasso Antonio e Gagliardi Michele che hanno dato fiducia alla mia idea e al mio progetto di realizzazione di questa tesi.

Ringrazio anche il Dr. Stefan Mancuso e l'azienda IPRO GmbH per la disponibilità e la strumentazione inviatami per effettuare i test necessari.

Ringrazio la mia Famiglia, in primis la mia mamma, Lucietta, per l'immensa forza che ha saputo dimostarmi e infondermi in questi anni per poter raggiungere questo risultato, i miei fratelli e mia sorella, Franco, Nunzio e Rosa, per l'appoggio che mi hanno dato soprattutto nei momenti di difficoltà, e i miei nipoti Sara e Alessandro, per i momenti di gioia che ho condiviso con loro.

Ringrazio Anna, per la sua dolcezza e la sua risolutezza, e per avermi spronato a dare sempre il meglio di me stesso.

Ringrazio i miei amici più cari, in particolare Marco, Davide, Martina, Alessandra e Antonio, per essere stati al mio fianco.

Ringrazio tutti i compagni di corso che ho incontrato in questi anni con cui ho condiviso una chiacchiera, un esame, o solo uno sguardo durante le lezioni.

Ringrazio tutti i professionisti che hanno saputo insegnarmi qualcosa in più su questa stupenda professione e che spero di poter continuare esercitare.

Ringrazio chi avrei voluto fosse al mio fianco, ma che in fondo so che mi stanno guardando, ovunque siano.

Ed infine ringrazio me stesso, per la forza che ho dimostrato, per il coraggio che ho manifestato, e per i sacrifici che ho dovuto affrontare.