

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*

**La sensibilità al contrasto e la sua  
importanza nella valutazione optometrica  
in soggetti astigmatici**

**Relatori:**

Prof. Michele Gagliardi

**Candidato:**

Filomena De Pietro

Matricola M44000297

A.A. 2021/2022

# INDICE

## **CAPITOLO 1**

### **IL SISTEMA VISIVO UMANO**

- **1.1 IL PROCESSO DELLA VISIONE: L'OCCHIO CARATTERISTICHE FUNZIONALI E ANATOMICHE.....pag.4**
- **1.2 LA TRASMISSIONE DEL SEGNALE VISIVO.....pag.6**
- **1.3 LA VIA MAGNOCELLULARE.....pag.8**
- **1.4 LA VIA PARVOCELLULARE.....pag.9**
- **1.5 LA SENSIBILITA' AL CONTRASTO: IL SUO FUNZIONAMENTO E VALUTAZIONE.....pag.9**

## **CAPITOLO 2**

### **SENSIBILITA' AL CONTRASTO**

- **2.1 FATTORI CHE INFLUENZANO LA SENSIBILITA' AL CONTRASTO.....pag.15**
- **2.2 LA FUNZIONE DELLA SENSIBILITA' AL CONTRASTO: METODI E APPLICAZIONI.....pag.20**
- **2.3 TEST GENERATI ELETTRONICAMENTE.....pag.25**

## **CAPITOLO 3**

- **3.1 SVILUPPO DELLA RICERCA.....pag.27**
- **3.2 DISPOSITIVI UTILIZZATI.....pag.28**
- **3.3 ANALISI DELLA RICERCA.....pag.28**
  
- CONCLUSIONI.....pag.33**
- RINGRAZIAMENTI.....pag.36**
- SITOGRAFIA.....pag.38**
- BIBLIOGRAFIA.....pag.39**

*La visione binoculare è la trinità della percezione fisica trascendente.*

*Il Padre, l'occhio destro, il Figlio, l'occhio sinistro, e lo Spirito, il cervello, il  
miracolo della lingua di fuoco, l'immagine luminosa virtuale divenuta incorruttibile,*

*puro Spirito Santo*

*(S. Dalì)*

# CAPITOLO I: IL SISTEMA VISIVO UMANO

## 1.1 Il processo della visione: l'occhio caratteristiche funzionali e anatomiche

Il processo visivo può essere suddiviso in tre parti: la prima corrisponde al fenomeno che permette la generazione della stimolazione retinica, la seconda è la trasformazione dell'impulso in stimolazione elettrica e nervosa, infine l'elaborazione dell'informazione che permette la formazione di un'immagine visiva.

Anatomicamente (Fig. 1.1) l'occhio ha una forma sferica, con un diametro di circa 24 mm in un soggetto adulto. Il sistema ottico dell'occhio consiste principalmente in due lenti: la cornea e il cristallino e da due sostanze trasparenti chiamate umor acqueo e corpo vitreo.

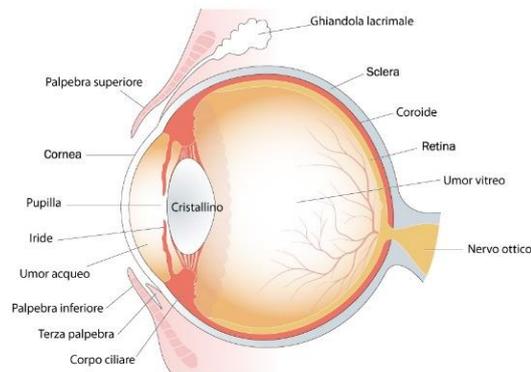


Fig. 1.1: occhio umano

Il primo mezzo che la luce incontra è la cornea, un tessuto avascolare trasparente con molte terminazioni nervose. Presenta un diametro di 12 mm e uno spessore medio di circa 0,6 mm, con un indice di rifrazione di circa 1,366. Il suo potere diottrico è tra 40 e 44 diottrie. Quest'ultima è definita come il principale strumento diottrico dell'occhio. Dietro la cornea si trova la camera anteriore, separata dalla camera posteriore per la presenza dell'iride. Entrambe le camere contengono umor acqueo, che è il responsabile del nutrimento della cornea. Il cristallino è posizionato dietro l'iride e una struttura pigmentata a forma di anello che funge da membrana muscolare e modifica il diametro del suo foro centrale nonché la pupilla, la quale regola la luce che entra nell'intero sistema. Il diametro della pupilla può variare da 2 a 8 mm in un giovane adulto. Quando la luce passa attraverso la pupilla, incontra il cristallino, una struttura trasparente

direttamente controllata dal muscolo ciliare il quale è in grado di cambiare forma per focalizzare la luce sulla retina. Il suo indice di rifrazione varia dal nucleo alle sezioni intorno da 1,42 a 1,39. Successivamente la luce passa attraverso la camera vitrea posteriore, che riempita con una sostanza gelatinosa, dà struttura al bulbo oculare. Infine, la luce raggiunge la retina. La retina è una membrana fotosensibile dell'occhio che contiene i fotorecettori denominati bastoncelli e coni. Queste sono cellule che si eccitano quando ricevono un appropriato stimolo luminoso e convertono l'energia elettromagnetica in un segnale elettrochimico, successivamente trasmesso al cervello. I coni rispondono a stimolazioni luminose elevate e sono responsabili della visione fotopica (o diurna), mentre i bastoncelli sono caratterizzati da un'elevata sensibilità alla luce, che viceversa reagiscono a stimolazioni luminose molto basse consentendo la visione scotopica (o notturna). In un prodotto intermedio che coinvolge due fotorecettori, la visione è definita mesopica.

È importante sottolineare una distinzione tra il sistema dei bastoncelli, che non è in grado di distinguere i colori, e il sistema dei coni che, invece, presenta tre diversi fotopigmenti responsabili della visione cromatica. I componenti funzionali della retina sono stratificati dall'esterno verso l'interno dell'occhio secondo lo schema mostrato nella Figura 1.2.

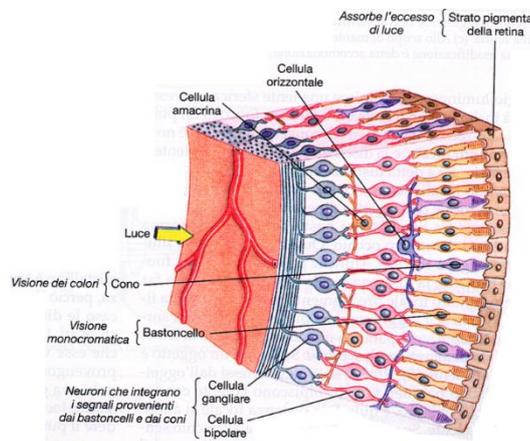


Fig. 1.2: Strati della retina

Quando la luce entra nel sistema diottrico dell'occhio, attraversa i primi strati della retina, per poi raggiungere i coni e i bastoncelli. Esiste una zona centrale della retina denominata *macula lutea*. Essa è la parte incaricata della visione nitida e della percezione dei dettagli, impedendo quindi alle radiazioni a onde corte di raggiungere la

retina stessa. Al centro della *macula* c'è un incavo chiamato *fovea* centrale, dove si forma l'immagine di un oggetto fissato. La fovea (*foveola centralis*) consiste interamente di coni con una struttura lunga e sottile che aiuta a percepire i dettagli dell'immagine, in contrasto con i bastoncelli che si estendono dal bordo di quella regione retinica.

## 1.2 La trasmissione del segnale visivo

Nella retina, oltre ai fotorecettori, si possono individuare altre tipologie di cellule quali orizzontali, amacrine e bipolari. Se da una parte, questa varietà permette la trasmissione delle informazioni all'interno delle varie cellule retiniche, dall'altra l'interazione tra loro consente la realizzazione di importanti proprietà che aumentano l'efficienza delle prestazioni visive come l'adattamento alle variazioni di luminosità. Nella *fovea* ogni cono si collega ad una cellula bipolare e a sua volta ad una cellula gangliare per seguire un percorso diretto. Allontanandosi dalla fovea, i recettori si concentrano di più sulle cellule bipolari, la cui maggior parte sono cellule gangliari. Inoltre, va notato che, come mostrato nella Figura 1.3, la distribuzione dei fotorecettori nella retina è irregolare e più o meno simmetrica attorno alla fovea.

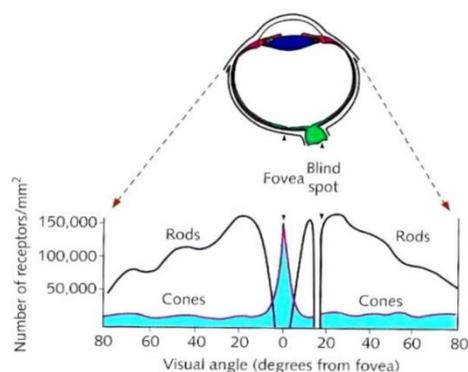


Foto 1.3: Distribuzione di coni e bastoncelli nella retina

Questa distribuzione consente un ampio campo visivo e un'elevata risoluzione spaziale in un modo da aiutare il movimento continuo degli occhi per mettere a fuoco gli oggetti d'interesse sulla fovea. Il campo recettivo può essere definito come zona della retina formata dalla convergenza dei segnali provenienti da fotorecettori (bastoncelli e coni) le cui risposte influenzano le cellule di elaborazione visiva nonché le cellule gangliari. Le cellule gangliari non sono mai a riposo, la loro attività spontanea è regolata da fattori derivanti dagli interneuroni retinici (orizzontali e amacrine). Le afferenze, che

raggiungono le cellule gangliari provenienti dai fotorecettori, occupano una regione limitata della retina chiamata *campo recettivo cellulare*. Quando si parla di campo recettivo, ci sono alcuni aspetti delle cellule gangliari da considerare. Le cellule gangliari vengono distinte in due vie che funzionano in parallelo:

la via magnocellulare (M) e la via parvocellulare (P), aventi entrambe cellule gangliari centro-on ovvero quelle eccitatorie e centro-off ovvero quelle inibitorie. (Figura 1.4).

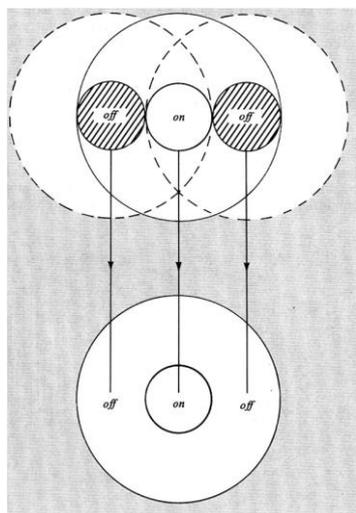


Fig. 1.4 Cellule ON & OFF

Le cellule gangliari ON e OFF (Figura 1.4) forniscono due percorsi paralleli per l'analisi di informazioni sensoriali. Questo accade perché le cellule gangliari sono le prime cellule del sistema visivo a generare potenziali d'azione. Non tutte le cellule gangliari hanno campi recettivi che sono divisi in centro e periferia. Ad esempio, esistono cellule gangliari che misurano la luminanza totale del campo visivo, sono importanti per il controllo dei riflessi pupillari, hanno campi recettivi semplici cioè non sono divisi in centrali e periferici.

Questa interazione è uno dei processi fondamentali nella spiegazione di molti fenomeni percettivi, in particolare nella percezione del contrasto. Inoltre, le dimensioni dei campi recettivi variano a seconda delle cellule gangliari. In particolare, i centri dei campi recettivi sono più piccoli nella fovea e aumentano di dimensioni allontanandosi da essa. Questo spiega ancora una volta il fatto che l'acuità visiva è massima nella fovea. La dimensione del campo ricettivo è quindi proporzionale alla frequenza spaziale in modo che le cellule con grandi campi recettivi rispondono a basse frequenze spaziali e viceversa. A questo proposito, è possibile effettuare una nuova classificazione delle cellule gangliari con grandi campi recettivi e piccole cellule gangliari con piccoli campi recettivi.

Le cellule gangliari devono raccogliere informazioni da tutti i fotorecettori e riassumerle in modo da conservare le caratteristiche essenziali dell'immagine.

È stato dimostrato che il campo del recettore è fino a 2 e 3 volte più grande rispetto alle cellule piccole e sono maggiormente sensibili al contrasto. In conclusione, la retina costituisce la parte fotosensibile dell'occhio e contiene un circuito neuronale complesso, il cui compito è quello di trasformare le immagini ottiche proiettate sui fotorecettori in segnali nervosi che invia al cervello attraverso il nervo ottico.

### 1.3 LE CELLULE MAGNOCELLULARI

Le cellule Magnocellulari possiedono campi recettivi ampi e alta velocità di conduzione dovuta al fatto che c'è un cambiamento di potenziale di azione solo all'inizio dello stimolo. Esse rappresentano il 10% delle cellule gangliari e hanno elevata sensibilità per le frequenze spaziali basse ( $\leq 0,5$  cicli per grado [cpg]), frequenze temporali alte ( $> 16\text{Hz}$ ), basso contrasto di luminanza (2%). Sono sensibili, inoltre, a stimoli con velocità di movimento alta ( $> 5\text{cpg}$ ) e con presentazione eccentrica rispetto alla fovea (Kandel et al., 1994). La via Magnocellulare (M) ricopre un ruolo importante in diverse funzioni per l'analisi degli stimoli esterni come: la visione del movimento o risposta a stimoli Flicker<sup>1</sup>, la stereopsi<sup>2</sup> e movimento coordinato degli occhi, il processamento temporale e attivazione/direzionamento dell'attenzione alla base della visione periferica (Rossetti & Gheller, 2003).

La via magnocellulare si occupa anche della visione stereoscopica, infatti le cellule M formano la via dorsale e sono presenti nel (nucleo genicolato laterale) NGL, possiedono campi recettivi grandi, sono insensibili al colore e inoltre rispondono bene a stimoli di grandi dimensioni: appartengono al sistema magno-dorsale, necessario per la percezione del movimento, della profondità e di piccole differenze di luminosità. Si pensa che queste riescano ad analizzare la disparità orizzontale fra due immagini retiniche e che questa informazione sia sfruttata per sincronizzare gli occhi in modo tale da mettere a fuoco una particolare profondità di campo e di far muovere gli occhi verso uno stimolo lontano o vicino (Kandel et al., 1994).

---

<sup>1</sup> Per stimolo Flicker si intende un reticolo che varia la sua luminosità nel tempo, quindi frequenza temporale varia mentre quella spaziale resta fissa.

<sup>2</sup> Stereopsi è capacità visiva dei mammiferi superiori e dei primati di percepire la profondità dello spazio tramite meccanismi binoculari.

## 1.4 LE CELLULE PARVOCELLULARI

Le cellule parvocellulari costituiscono il 90% del nervo ottico e provengono dalla maggior parte della fovea centrale. Sono cellule in grado di garantire una risposta allo stimolo con un potenziale costante dall'inizio alla fine. La via Parvocellulare è formata da campi recettivi di ridotte dimensioni ed è sensibile al colore e ai dettagli spaziali, infatti si attiva con stimoli ad alto contrasto e alte frequenze spaziali ( $> 4$  cicli per grado [cpg]) (Kandel et al., 1994). La via ventrale<sup>3</sup> è destinata al riconoscimento di oggetti questa è sensibile alla forma e ai margini delle immagini, al loro orientamento, grazie all'elevato potere risolutivo. (Kandel et al. 1994).

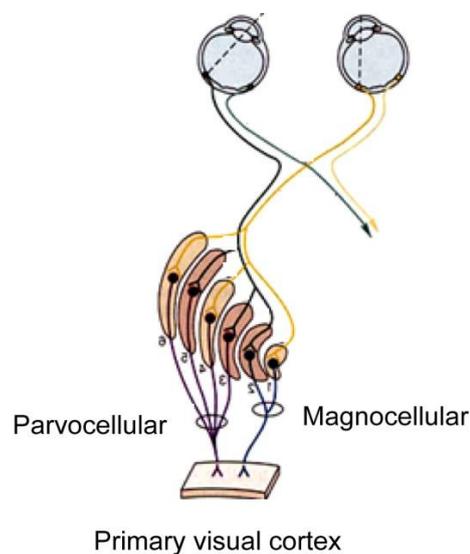


Fig. 1.5 percorso magnocellulare e parvocellulare

## 1.5 LA SENSIBILITÀ AL CONTRASTO: IL SUO FUNZIONAMENTO E VALUTAZIONE

La funzione della sensibilità al contrasto o CSF è la componente più semplice ed essenziale per la definizione della struttura della scena visiva, può essere definita come una funzione che misura la capacità di distinguere oggetti in diverse condizioni di luminosità (luminanza) e può determinare quanto un osservatore può percepire, anche le più piccole differenze tra un oggetto e lo sfondo. Infatti descrive le caratteristiche spaziali della visione in modo più

<sup>3</sup> Zona del cervello destinata all'elaborazione visiva

completo rispetto alla misura dell'acuità visiva, che valuta principalmente il potere dell'occhio. Questa capacità, fondamentale per distinguere gli oggetti dallo sfondo, tende a ridursi con l'avanzare dell'età e per effetto di alcune patologie oculari, rendendo difficile la visione in penombra. La quantità di contrasto tra gli stimoli varia in funzione della frequenza spaziale, o del tempo, con cui questi si alternano. Quando si parla di contrasto è importante conoscere la differenza tra *contrasto*, *luminanza* e *brillanza*.

Con il termine *contrasto* si definisce la differenza di luminanza tra zone adiacenti allo sfondo; per *luminanza* (Fig. 1.6) s'intende la misura dell'intensità luminosa in una data direzione emessa direttamente da una sorgente estesa o per riflessione da una superficie. Si misura in candele/m<sup>2</sup> (cd/m<sup>2</sup>); infine la *brillanza* (*brightness*) è la qualità percettiva in cui un'area osservata appare inviare all'osservatore più o meno luce.

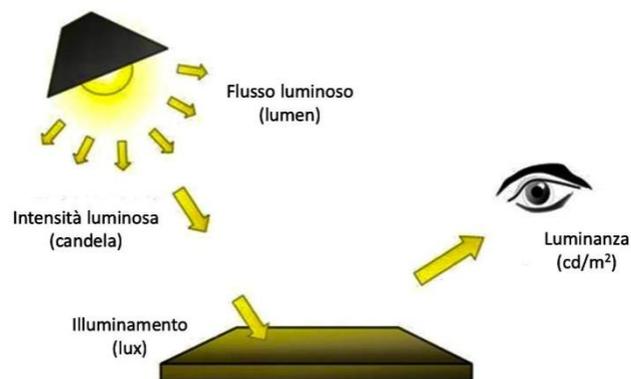


Fig. 1.6 Luminanza

La sensibilità al contrasto definisce la soglia tra visibile e invisibile (Fig.1.6), infatti ha un'importanza nella scienza della visione. Per quanto concerne il concetto di sensibilità al contrasto in qualità di funzione che misura il *discrimen* tra oggetti in condizioni di luminosità variabile è necessario conoscere la differenza tra contrasto e luminanza. La differenza di luminanza tra diverse zone adiacenti allo sfondo si ricava con due formule quella di Weber e Michelson:

contrasto di Weber 
$$C = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{min}}$$

$$\text{Contrasto di Michelson } C = \frac{L_{max}-L_{min}}{L_{max}+L_{min}}$$

Con Weber lo stimolo si trova su uno sfondo piccolo e uniforme, mentre con la formula di Michelson viene usato un campo visivo che è occupato da una sequenza di bande di chiaro-scuro le quali formano reticoli sinusoidali. I risultati della prima formula hanno valori elevati, sia essi positivi o negativi, invece i valori con la seconda formula sono compresi tra 0 e 1. Per il concetto di luminanza intendiamo un flusso luminoso riflesso per unità di superficie, in direzione normale rispetto all'emissione. Ogni oggetto visibile ha una distribuzione spaziale di luminanza che possiamo rappresentare con un'espressione analitica. Questa espressione rappresenta una funzione che può essere decomposta con l'analisi di Fourier mediante una serie di somme di diverse frequenze. La somma risulta infinita mentre il numero finito di termini si approssima allo spazio degli oggetti. Questi quando si traducono in stimoli visivi ognuno di loro è una distribuzione sinusoidale a seconda delle frequenze della luminanza. Fourier dimostrò che qualunque funzione periodica era una somma di infinite funzioni sinusoidali.

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(\frac{2\pi nx}{p}\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi nx}{p}\right)$$

Dove:  $(2\pi nx)$  è uguale alla frequenza angolare e  $P$  il periodo.

per  $n=0$  il  $\cos\left(\frac{2\pi 0x}{p}\right) = 1$  ed inoltre si definisce  $x_0 = 2\pi/p$  come la frequenza angolare fondamentale di  $x_0$

I coefficienti  $a_n$  e  $b_n$  sono interpretati come l'ampiezza dell'armonica  $n$ -esima. Essendo  $a_0, a_n, e b_n$  coefficienti che possono essere calcolati utilizzando le seguenti espressioni:

$$a_0 = (1/p) \int_0^p f(x) dx$$

$$a_n = (2/P) \int_0^p f(x) \cos\left(\frac{2\pi nx}{p}\right) dx$$

$$b_n = (2/P) \int_0^p f(x) \sin\left(\frac{2\pi nx}{p}\right) dx$$

Il modello di rete o ad onda sinusoidale può essere definito da vari parametri:

- La luminanza media ( $L_0$ ) rappresenta il livello medio della luminanza dello stimolo che corrisponde al valore zero della funzione sinusoidale.
- La luminanza massima e minima ( $L_{max}$  e  $L_{min}$ ) corrispondono all'ampiezza del pattern sinusoidale della luminanza, rappresentati nello schema da punti di massimo e minimo.
- La frequenza misura il numero di cicli sinusoidali per grado visuale ( $c/g$ )<sup>2</sup>.
- Nel caso di un reticolo sinusoidale il contrasto, conosciuto come contrasto di Michelson, si misura come:

$$C = \frac{(L_{max} - L_{min})}{(L_{max} + L_{min})}$$

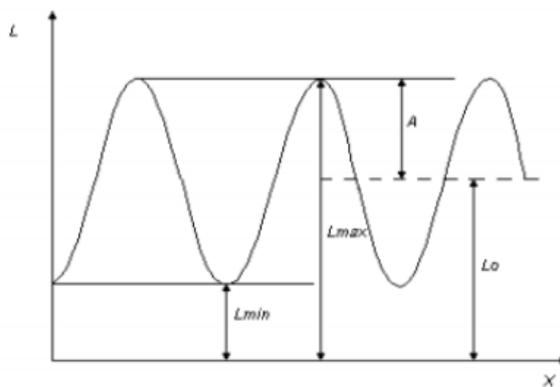


Figura 1.7: Parametro caratteristico di un profilo di luminanza sinusoidale

Concludendo la maggior parte degli stimoli luminosi può essere analizzata in una serie di onde sinusoidali (analisi di Fourier -1822) caratterizzata da una serie di componenti come frequenze, ampiezza e fase (Spinelli 1988).

L'analisi di Fourier è un campo che prende il nome dagli studi di Jean Baptiste Joseph Fourier il quale riuscì a dimostrare che una qualunque funzione periodica può essere vista come la somma di infinite funzioni seno e coseno. Questi modelli di luminosità sinusoidale sono gli elementi più semplici per descrivere l'imaging (formazione dell'immagine) del sistema ottico umano.

## CAPITOLO II: Sensibilità al contrasto

### Sensibilità al contrasto

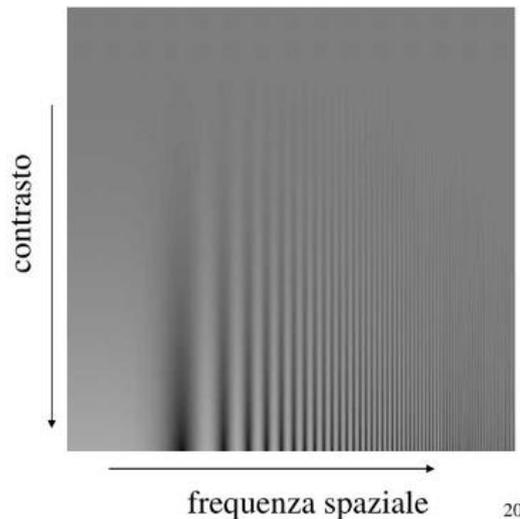


Figura 2.1 Pattern sinusoidale a contrasto variabile attraverso cui è possibile rilevare la CSF. La frequenza spaziale cresce lungo l'ascissa. Il contrasto decresce lungo l'ordinata da un valore 1 fino ad un valore 0

La valutazione della funzione visiva di una persona include fattori come l'acuità visiva (VA), il campo visivo e la sensibilità al contrasto. Alcuni problemi di vista vengono rilevati dai test dell'acuità visiva (AV), che possono essere utilizzati per rilevare e fornire un trattamento che compensi i disturbi visivi. La valutazione AV è la base per valutare la quantità del visus, infatti è uno dei test usato tra gli ottici, optometristi oftalmologi. Pertanto, è importante capire come cambia la dimensione di un oggetto, non solo in funzione delle dimensioni, ma anche in termini di contrasto. In realtà, questo è un altro modo per diagnosticare la capacità visiva, quello della sensibilità (del sistema visivo) al contrasto. Questa è il reciproco della soglia di contrasto definibile come la capacità di distinguere la più piccola differenza di luminanza tra zone adiacenti.

La sensibilità al contrasto è quindi inversamente proporzionale alla soglia di contrasto: più il contrasto sarà piccolo più la sensibilità sarà alta e viceversa.

Successivamente a questi primi approcci con la misurazione della curva di sensibilità al contrasto, Campbell e Robson (1968) fecero ulteriori ricerche e fornirono un'idea più precisa riguardo ai meccanismi neurali che influenzano la visione del contrasto. Infatti suggerirono la presenza di una serie di canali indipendenti; con il termine canale si fa riferimento a un meccanismo psicofisico selettivo per determinati valori (orientazione, frequenze spaziali) in grado di filtrare l'input visivo sulla base delle proprie proprietà di filtraggio. Ogni canale ha una propria funzione di sensibilità al contrasto (*CSF*, acronimo inglese di *contrast sensitivity function*) per una determinata frequenza spaziale. Quindi, secondo Campbell e Robson, la curva di sensibilità al contrasto risultava essere l'esito dell'attività combinata di questi canali indipendenti. Il sistema proposto dai due ricercatori suggerisce perciò che ogni localizzazione spaziale venga analizzata da un determinato numero di canali, ciascuno con una sensibilità preferenziale (ma non esclusiva) ad una data frequenza. In breve, tutto ciò che percepiamo si scompone in molteplici frequenze spaziali o canali. Ci sono canali selettivi che il nostro sistema visivo utilizza per vedere situazioni ad alto e basso contrasto. Guardando la figura 2.2, si può vedere che ogni canale selettivo formato, filtra informazioni limitate sugli oggetti che compaiono nelle diverse immagini della foto della bambina. La percezione visiva si ottiene sovrapponendo (sommando) tutti i canali come mostrato nell'ultimo ritratto della bambina.

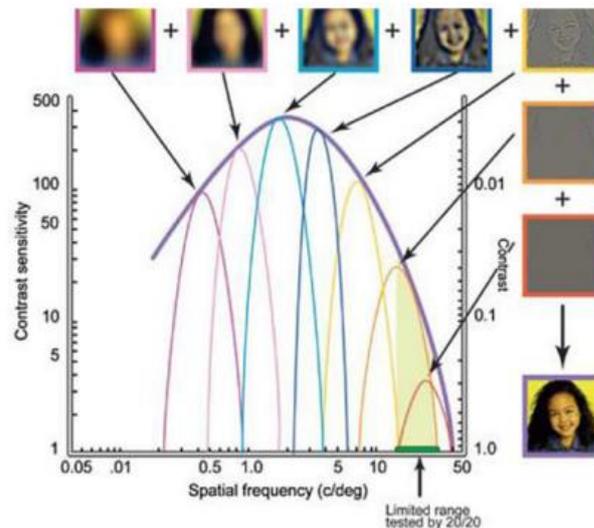


Figura 2.2: Funzione della sensibilità al contrasto per ogni canale selettivo a frequenze spaziali sintonizzati.

## **2.1 FATTORI CHE INFLUENZANO LA SENSIBILITA' DEL SISTEMA VISIVO**

La sensibilità del sistema visivo umano dipende da diversi parametri come ad esempio luminanza, colore, posizione nel campo visivo, dimensione dello stimolo, ecc. Le analisi di questi parametri consentono di determinare la CSF. La ricerca presentata ha tenuto conto dei parametri che possono influenzare la sensibilità al contrasto, cioè quelli di importanza pratica: fattori fisiologici, fattori ambientali, orientamento del reticolo, dimensioni del test, diametro pupillare, fattori patologici, ametropie e fattori correttivi.

- **Fattori fisiologici**

Con l'età si modifica fisiologicamente la funzionalità del sistema visivo, prevalentemente in due fasi: nel primo sviluppo dopo la nascita e durante l'invecchiamento. La sensibilità al contrasto nel primo mese di vita è circa dieci volte minore che nell'adulto e l'acuità visiva non supera 1 ciclo/grado. Una volta raggiunta la sua forma caratteristica la CSF può subire dei cambiamenti fisiologici per via dell'invecchiamento (dopo circa 60 anni di vita). Alla riduzione della sensibilità concorrono probabilmente sia fattori ottici, come l'aumento dell'assorbimento e la riduzione del diametro pupillare, sia fattori neurali.

- **Fattori ambientali**

Il principale fattore che interviene sulla CSF è la luminanza, studiato nel 1967 da Van Nes e Bouman. Essi studiarono come la sensibilità al contrasto variava a seconda della luminanza dello sfondo. Se la luminanza decresce come mostrato dal reticolo, la CSF tende a spostarsi verso sinistra: il picco di sensibilità della curva e la linea di caduta alle alte frequenze spaziali si spostano verso frequenze spaziali più basse (fig.2.3).

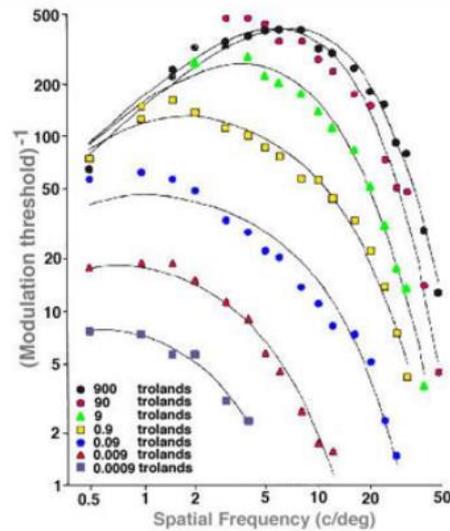


Fig. 2.3 Funzione della sensibilità al contrasto a bassa luminanza ed alta luminanza.

- **Orientamento del reticolo**

Il sistema visivo umano è più sensibile a reticoli con orientazione orizzontale e verticale, rispetto a quelli di orientazione obliqua (Campbell, 1966). Questo effetto, noto come obliqua, è più pronunciata nella gamma di alte frequenze spaziali. La frequenza del reticolo è definita in cicli per grado e sono visualizzati i valori: 0.5 c/g – 1.0 c/g – 1.5 c/g – 3.0 c/g – 6 c/g – 12 c/g – 18 c/g. il contrasto va dal 100% allo 0.42 secondo la formula di Michelson ricordando che si applica la formula di Weber per i reticoli a onda quadra e quella di Michelson per i reticoli a onda sinusoidale.

- **Dimensione del Test.**

La CSF è indipendente dalla dimensione del test a cui il soggetto è sottoposto tranne nei casi in cui vi è una diminuzione della sensibilità; in questi casi si noteranno delle frequenze spaziali nelle zone medi e basse.

- **Diametro pupillare**

La pupilla, essendo un diaframma del sistema ottico, varia la sua dimensione in base all'intensità della luce. Questa sua variazione di dimensione determina il fenomeno della diffrazione<sup>4</sup>. Questo fenomeno diminuisce all'aumentare del diametro della pupilla.

<sup>4</sup> Fenomeno consistente nel fatto che se vi sono ostacoli di qualsiasi genere sul [cammino](#) di un'onda.

Quindi al variare delle dimensioni della pupilla non cambia in modo determinante la risoluzione delle frequenze spaziali. La frequenza spaziale di taglio limitato dalla diffrazione si ottiene dalla seguente espressione:

$$fc = dtg(1^\circ)/\lambda$$

Dove  $d$  è il diametro della pupilla e  $\lambda$  è la lunghezza d'onda della luce:  $\lambda$  è uguale a 632,08 nm, la frequenza di taglio corrisponde alle pupille di 1,2,3 e 4 mm di diametro cioè rispettivamente 28,55,83,110 c/g. da un punto di vista sperimentale il limite per la risoluzione con queste pupille è 28, 42, 43, 44 c/g (Artigas, 1986). Quindi con un diametro pupillare di un mm il sistema è da considerarsi privo di aberrazione e limitato solo per la diffrazione.

- **Fattori patologici**

La CSF è influenzata sia da patologie del sistema visivo che da patologie sistemiche. Tra le patologie identificate del sistema visivo, che influenzano la sensibilità al contrasto troviamo: cheratocono, edema corneale, congiuntivite secca, cataratta, glaucoma, ambliopia, degenerazione maculare, edema maculare, neurite ottica e danni alle vie ottiche e nelle aree visive cerebrali. Tra le patologie comuni includono il diabete, il morbo di Parkinson, il morbo di Alzheimer, la dislessia, l'insufficienza renale cronica, la sclerosi multipla, la fibromialgia e l'AIDS. Purtroppo le singole malattie oculari o sistemiche non causano diversi tipi di alterazioni della CSF, cosa che avrebbe reso il test della sensibilità al contrasto un accurato strumento diagnostico differenziale.

Nel 1998 Elliott introdusse una suddivisione di tre diversi tipi di pattern di alterazioni più comuni (fig.2.4):

- *Tipo I descrive una perdita di sensibilità alle alte frequenze spaziali con sensibilità al contrasto (SC) normale per le basse frequenze, in particolare nelle fasi iniziali della*

malattia come la cataratta, cheratocono o la maculopatia. (fig. 2.4.1)

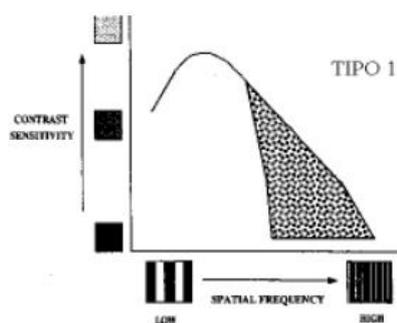


Figura 2.4.1 Pattern di Tipo I

- Tipo II relativo alla perdita di sensibilità di tutte le frequenze spaziali, lo si nota nella fibromialgia. Fig.2.4.2

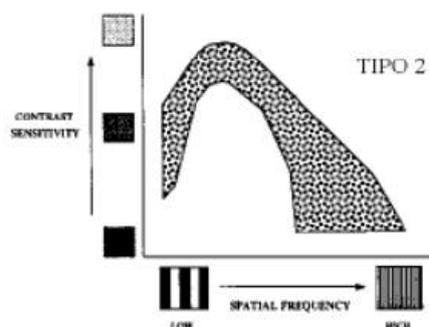


Figura 2.4.2 Pattern di Tipo II

- Tipo III ha una sensibilità al contrasto normale alle alte frequenze e (normale AV) ridotta a basse frequenze spaziali. Tipica in soggetti con neurite ottica, sclerosi multipla, glaucoma, diabete, lesioni del campo visivo e dislessia. Fig.2.4.3

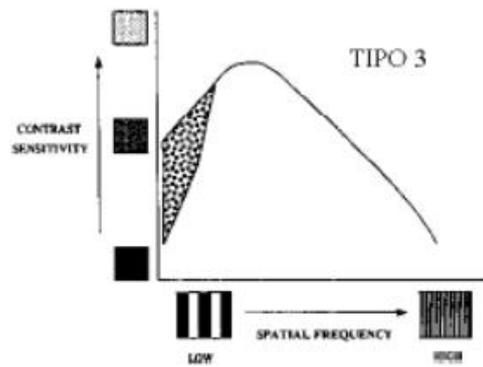


Figura 2.4.3 Pattern di tipo III

- **Ametropia**

La sfocatura dell'immagine causata dall'ametropia riduce la sensibilità al contrasto a frequenze spaziali più elevate fino a quando anche i reticoli più fini possono essere riconosciuti in condizioni di contrasto massimo. Ciò dimostra che un occhio sfuocato non riesce a vedere i dettagli più fini dell'immagine di un oggetto. Dalla ricerca effettuata, si è notato che la curva della CSF degli ametropi risulta essere modificata soprattutto nei soggetti con elevata ametropia. Durante gli esperimenti svolti in laboratorio, si è costatato che l'astigmatismo non corretto rende meno visibili i reticoli che hanno un orientamento parallelo alla linea focale più distante della retina. Quindi, in un astigmatismo miopico secondo regola saranno meno visibili i reticoli orizzontali, mentre nell'astigmatismo miopico contro regola si vedranno meno i reticoli verticali. Alcuni astigmatismi contro regola possono provocare anche delle riduzioni della sensibilità al contrasto localizzate a settori ristretti delle basse frequenze spaziali. Per tale motivo è importante che l'esame della SC venga eseguito utilizzando la correzione delle eventuali ametropie. La miopia elevata è un altro fattore da non trascurare, poiché modifica le dimensioni angolari dei reticoli e quindi la loro frequenza spaziale e di ciò occorre tener conto nella valutazione dei risultati degli esami. La sensibilità al contrasto per le basse frequenze spaziali risulta influenzata dalle dimensioni angolari ristrette.

- **Fattori correttivi.**

I sistemi correttivi dai tradizionali occhiali ai sistemi più moderni, come le lenti a contatto o la chirurgia refrattiva, può alterare la SC. Nell'utilizzo degli occhiali, l'alterazione della SC può essere attribuito dal potere delle lenti, dal tipo di filtro e se la lente è decentrata. Nel 1975, Applegate e Massof misero in luce una perdita di sensibilità al contrasto legata all'uso di lenti a contatto morbide. I quali ipotizzarono che alla base di questa perdita ci fosse l'induzione da parte di esse di un leggero edema (Elliot, 1998, Ho e Bilton, 1986). Le lenti a contatto inoltre possono creare una modifica della SC, poiché sono soggette a depositi disidratazione o mancanza di uniformità del film lacrimale.

## **2.2 La funzione della sensibilità al contrasto (CSF): metodi di rilevamento e applicazioni.**

La misura della funzione sensibilità al contrasto (CSF) è importante sia per la ricerca che nel campo clinico. Nella ricerca è importante in quanto il sistema visivo non elabora allo stesso modo tutte le frequenze spaziali e quindi si utilizzano diversi canali per trasmettere ogni frequenza. La misura per la sensibilità al contrasto risulta importante sia in campo clinico che in campo optometrico, in quanto offre informazioni per individuare patologie oculari che influenzino la trasmissione di ogni frequenza. Inoltre è un indicatore funzionale visivo della qualità della visione di un individuo soprattutto nelle attività pratiche della vita quotidiana (performance visuo-motoria), come guidare (soprattutto di notte), giudicare le distanze o muoversi.

I metodi utilizzati per determinare la CSF sono divisi in due gruppi: *metodo psicofisico* di tipo soggettivo usato nel campo della ricerca e nel campo clinico e il *metodo elettrofisiologico* di tipo oggettivo usato nella ricerca. Entrambi i metodi sono molto laboriosi in quanto richiedono un lungo procedimento per la valutazione da parte dell'esaminato, ma quello più utilizzato è il metodo psicofisico che riguarda la modalità di generazione degli stimoli. Gli stimoli presenti nei test sono divisi in due gruppi, a seconda che l'andamento del contrasto sia un'onda sinusoidale (fig.2.5) o onda quadra. (fig. 2.6)

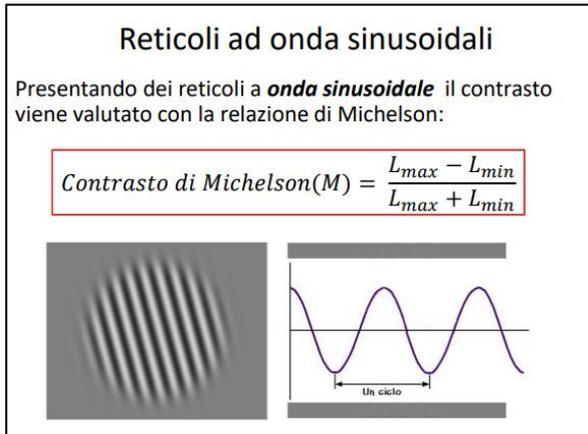


Figura 2.5 contrasto a onda sinusoidale

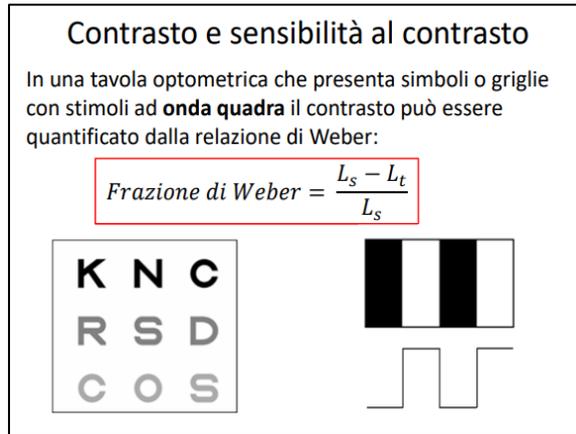


Figura 2.6 contrasto a onda quadra

Per quanto riguarda i test ad onda quadra, gli stimoli sono lettere, esempi di questo test sono le tavole di Pelli-Robson, le tavole di Regan, le tavole di Bailey-Lovie a basso contrasto o il tSC di Rossetti. I test ad onda sinusoidale sono costituiti dai reticoli, test di questo genere sono il test di Arden, i reticoli di Cambridge, o il Functional Acuity Contrast test (FACT). L'esecuzione del test nel campo clinico avviene attraverso procedure in cui vengono presentate delle serie ascendenti e discendenti ovvero l'intensità dello stimolo aumenta fino a quando il soggetto lo percepisce, per poi diminuire fino a che l'osservatore non è più in grado di rilevare lo stimolo. Tutti i test clinici più diffusi sono su carta, quest'ultimi sono mezzi semplici e veloci con una valutazione della sensibilità attendibile.

I test già citati sono test che cercano di individuare la CSF misurando le frequenze spaziali e diversi livelli di contrasto.

**Test di Arden.** È stato il primo test a diffondersi nel campo clinico. È formato da 6 schede rettangolari con stampato un reticolo sinusoidale di differenze frequenze spaziali per ogni scheda (0,2, 0,4, 0,8, 1,6, 3,2 e 6,4 c/g per una distanza di 57 cm). In ogni tavola il contrasto decresce logicamente dal basso in alto raggiungendo lo zero al bordo superiore. (fig. 2.7) Test di Arden. Durante l'esame ogni tavola è prima coperta e poi gradualmente scoperta, in modo tale da presentare il reticolo dalla zona di minor contrasto. Il soggetto esaminato deve indicare quando le barre del reticolo appaiono visibili. Ai livelli di contrasto di ogni tavola è assegnato un punteggio che va da 1 a 20. La media della somma dei punteggi permette di quantificare la condizione di sensibilità al contrasto. Attualmente non è più commercializzato ed è stato sostituito con una versione computerizzata che ha migliorato la procedura di somministrazione del test.

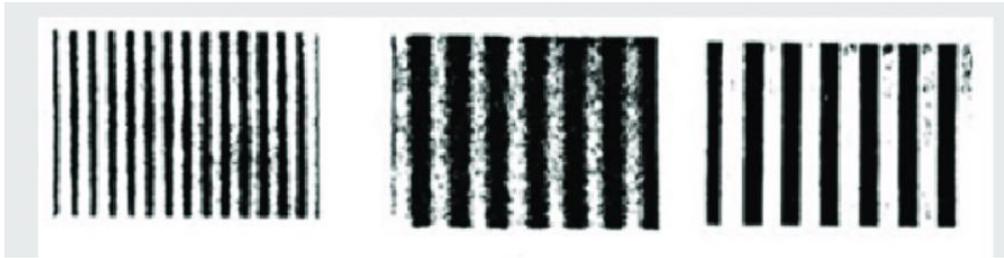


Figura 2.7 Test di Arden

**Vistech CST e FACT.** Introdotto da Ginsburg nel 1984, il Vistech CST consente di misurare buona parte della curva della sensibilità al contrasto. Il test è composto da vari reticoli sinusoidali organizzati in due tavole distinte per lontano (VCTS 6500) (fig.2.8) da somministrare a 3 metri e vicino (VCTS 6000) a 40cm. Ogni tavola è composta da cinque file di patch di contrasto. Ogni fila è composta da reticoli sinusoidali a 5 diverse frequenze spaziali (1,5, 3, 6, 12 e 18 cicli per grado) se visti alla distanza consigliata di 3 m. Il contrasto della griglia diminuisce su nove patch da sinistra a destra, l'ultima delle quali è vuota. Il contrasto più basso al quale il paziente può identificare correttamente l'orientamento costituisce il suo contrasto di soglia.

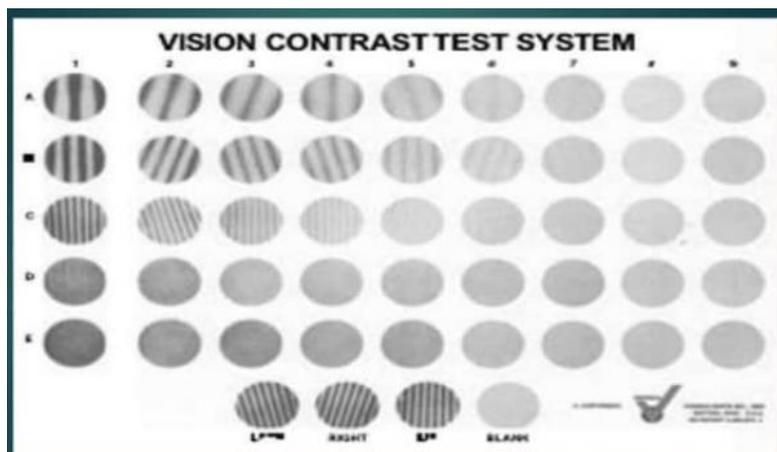


Figura 2.8 Vision Contrast Test System (VCTS)

**TSC di Rossetti.** Test che è nato nel 2003 da Anto Rossetti, utile per promuovere la diffusione della misura della sensibilità al contrasto nello screening visivo. Molto simile alle tavole di Regan con un'unica differenza che gli stimoli ovvero le mire sono delle **E** di Albini e il contrasto è variato tra le **E** che compongono la stessa riga corrispondente ad una certa frequenza spaziale. Ogni riga è composta da 7 E (fig.2.9), le prime due sulla sinistra hanno alto contrasto (circa 90%), le successive presentano una diminuzione di contrasto pari a 0,25 unità logaritmiche pe le prime 6 righe e leggermente maggiore per le successive.

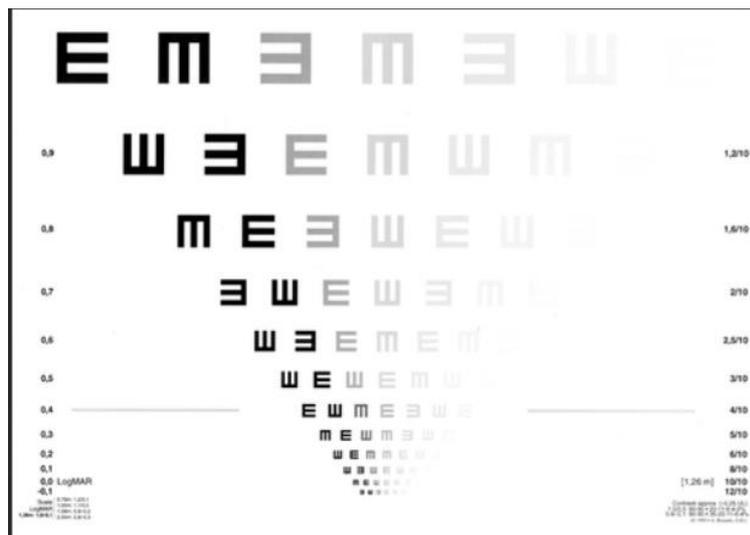


Figura 2.9 Tsc di Rossetti

La grandezza degli stimoli varierà dall'alto in basso, tra righe successive, secondo una progressione logaritmica di 0,1 logMAR. La distanza di osservazione base è 1,26m.

**Tavole di Pelli Robson.**

Si tratta di tavole ottotipiche, costituite da lettere di uguale dimensione, disposte in 8 file composte da 2 triplette di lettere dello stesso contrasto per un totale di 16 triplette. Le triplette decrescono di contrasto dall'alto in basso e da sinistra a destra con passi di 0,15 unità logaritmiche, partendo da un valore zero del logaritmo della sensibilità al contrasto (circa il 100% del contrasto). L'osservatore, posto ad un metro dal test, deve leggere le lettere partendo dalle triplette di maggiore contrasto e andando verso quelle e minore contrasto. Viene presa come soglia di contrasto il valore dell'ultima tripletta letta correttamente. (Fig 2.10)



Figura 2.10 Tavole di Pelli Robson.

Il test Pelli-Robson è facile da usare in quanto somiglia al test della misurazione dell' AV (acuità visiva) con cui i pazienti hanno più familiarità. E' di veloce somministrazione e risulta utile per il rilevamento della cataratta e per il controllo dei conducenti per problemi di vista. Questo test è stato impiegato in studi su ampia scala e si è dimostrato utile nel valutare problemi neurologici.

### **Tavole di Regan.**

Le tavole di Regan sono mire a contrasto fisso e frequenze spaziali variabili come il test tSC Rossetti. Test molto utile per la misura dell'acuità visiva a basso contrasto. Nel quale si riesce ad individuare perdite visive in soggetti con diabete, ipertensione, morbo di parkinson, a cui l'acuità visiva ad alto contrasto non è sensibile. Le tavole di Regan sono composte da 8 lettere per riga.

### **Tavole di Bailey-Lovie a basso contrasto.**

Per misurare l'acuità visiva ad alto contrasto sono usate le tavole di Bailey-Lovie, queste hanno sul lato posteriore una versione per misurare l'acuità visiva a basso contrasto. Il test è estremamente accurato nella misurazione oo ma viene anche utilizzato per misurare la CS. Per fare ciò il test usa una differenza di dimensioni logaritmiche tra le lettere e tra gli spazi. Il primo test per tale misurazione è stato reso pubblico nel 1918 però in realtà i primi a

effettuare misurazioni soggettive di CS furono Green e Campell nel 1965. Però è solo nel 1976 che questo test evoluto ed aggiornato è stato utilizzato nella pratica clinica.

## 2.3 Test generati elettronicamente

Nella società in cui ci troviamo abbiamo sempre più strumenti computerizzati che aiutano la valutazione della sensibilità al contrasto. Tra i tanti sistemi computerizzati ad esempio l'opetec, il multivision contrast test e il polar test quest'ultimo utilizzato nella ricerca, da me svolta, in campo optometrico. Tutti questi test citati hanno dei vantaggi rispetto a quelli cartacei, infatti possono generare qualsiasi tipo di stimolo: ampi range di frequenza spaziale e contrasto, possono gestire qualunque procedura psicofisica e registrare in modo automatico i dati delle risposte, quindi ridurre i tempi di durata del test.

Il dispositivo OPTEC è un tipo di test con sistema automatico che fornisce la misura della sensibilità al contrasto e sensibilità all'abbagliamento. Questo test utilizza lo stesso ottotipo e sistema di misura del test FACT per misurare la CSF in aggiunta a una sorgente radiale di abbagliamento. (Fig.2.11)



Figura 2.11 Strumento OPTEC

Il Multivision Contrast Tester (MCT) consente la misurazione della CSF in condizioni di basse e alte frequenze. Usato per il controllo della sensibilità al contrasto a 6 c/g. è raccomandato per effettuare screening visivi iniziali. (Fig. 2.12)



Figura 2.12 Dispositivo MCT

Il Polar-Test (Fig. 2.13) è uno schermo computerizzato infatti può presentare al soggetto svariate tavole per la valutazione quantitativa e qualitativa del visus. Il polar test fornisce vari test per la sensibilità al contrasto come il test VCTS 6500, il PELLI-ROBSON, Barre sinusoidali, Contrast Sensivity Chart e l'ERDRS.



Figura 2.13 Schermo LCD del Polar Test  
Rodenstock

## CAPITOLO 3

### 3.1 Scopo della ricerca

Dopo aver illustrato la CS e la sua importanza, in relazione ad una qualità visiva complessiva e i diversi test possibili per la sua misurazione, in questo lavoro di tesi si è cercato di evidenziare possibili differenze tra alcune ametropie e come queste possano determinare la qualità della sensibilità al contrasto.

Nella stessa esecuzione si è notato come quest'abilità, molto spesso trascurata, svolga un ruolo determinante nella visione e come questa possa portare a vantaggi elevati proiettandosi aldilà della mera qualità visiva basata sui decimi percepiti.

La ricerca dei dati è stata eseguita nel laboratorio di Optometria dell'Università Federico II di Napoli, somministrando test con lo scopo di valutare come può variare la CSF in base all'età e all'ametropia. Dai risultati ottenuti si è notato che i soggetti che hanno un visus di 10/10 e oltre, Hanno una scarsa sensibilità al contrasto e una buona e alta quantità visiva. La motivazione che ha spinto l'inizio di questa ricerca è quella di scoprire cosa si verifica trovandosi in presenza di una ametropia, in particolare, astigmatismo miopico e ipermetropico (su cui ci si è specificamente posta l'attenzione). La ricerca è stata suddivisa in due parti: una parte nel controllo della correzione, quindi controllo dell'acuità visiva l'altra nella valutazione dell'analisi della sensibilità al contrasto con correzione. (se prevista)

La ricerca è stata eseguita su 50 soggetti di età compresa tra 19 e 60 anni. Le misurazioni sono state effettuate in visione binoculare e in condizioni fotopiche con l'utilizzo del Polar-Test Rodenstock. I dati raccolti da un'anamnesi generale hanno compreso età, occhiali o lac in uso e ametropie. Successivamente si è passati ad effettuare il test della sensibilità al contrasto. Con i primi valori ottenuti sulla qualità della sensibilità al contrasto si è notato una differenza tra pre-correzione e post-correzione della sensibilità al contrasto.

### 3.2 DISPOSITIVI UTILIZZATI

I dispositivi elettronici utilizzati per la rilevazione della sensibilità al contrasto, sono stati autorefrattometro e Polar-Test. Durante lo svolgimento dei test sono stati presentati ai soggetti stimoli come gli anelli di Landolt, per quantificare l'acuità visiva, e il Polar-Test per la CSF.

### 3.3 RICERCA E ANALISI

I soggetti che sono stati sottoposti al test sono stati selezionati esclusivamente tra le persone con astigmatismo (fig.3.1), miopico e ipermetropico.

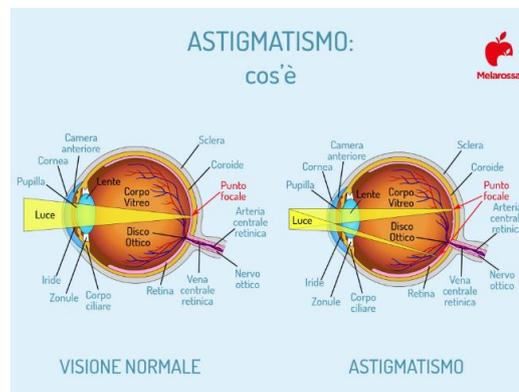


Fig.3.1 occhio emmetrope / occhio astigmatico

I test hanno tutti osservato la sequenza:

- anamnesi del soggetto
- controllo al frontofocometro della correzione in uso
- test della sensibilità al contrasto, polar-test.

Dopo aver analizzato il soggetto e aver letto i dati al frontofocometro, della correzione in uso, sono stati segnati i dati evidenziati e quindi si è proceduto con il test della sensibilità al contrasto. L'esecuzione del test è avvenuta a tre metri dal polar-test, in situazione di illuminazione fotografica richiedendo la collaborazione del soggetto attraverso l'uso del demo (fig. 3.2).

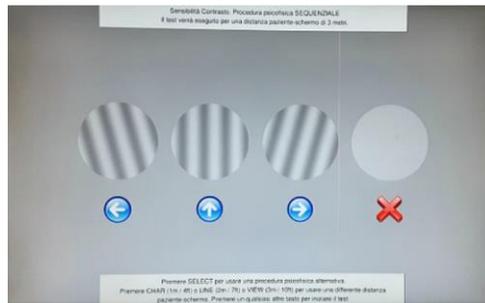


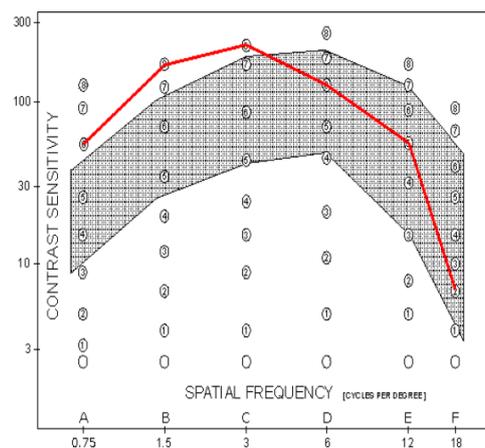
Fig.3.2 Demo Polar-Test

Le risposte possibili sono quattro: sinistra (inclinate a sinistra), destra (inclinate a destra), dritte (centrali), oppure nessuna risposta. L'operatore segnala la risposta al computer utilizzando il telecomando. (fig.3.3)

Tasto da premere	Funzione implementata
▶	Risponde al grating sinusoidale presentato affermando che il soggetto ha visto l'inclinazione delle barre a destra
◀	Risponde al grating sinusoidale presentato affermando che il soggetto ha visto l'inclinazione delle barre a sinistra
▲(oSELECT)	Risponde al grating sinusoidale presentato affermando che il soggetto ha visto un andamento verticale delle barre
ROSSO	Risponde affermando che il soggetto non ha riconosciuto correttamente l'inclinazione delle barre presentate

Fig.3.3 Segnalazione delle risposte, dal soggetto, tramite il telecomando del Polar-test

Il test inizia mostrando un reticolo sinusoidale con frequenza spaziale di 1.5 c/g, ogni volta che si presenta l'immagine è necessario segnalarlo con il telecomando così come l'intervistato lo percepisce. Alla fine del test si ottiene il grafico della CSF del soggetto esaminato. (Fig.3.4)



Livelli di Sensività al Contrasto [LogCS]: A=54, B=170, C=220, D=125, E=55, F=7.

Fig.3.4

-Sull'asse delle x abbiamo le frequenze spaziali espresse in c/g. Ogni frequenza è segnata da una lettera maiuscola (A,B,C,D,E,F,...)

-Sull'asse delle y sono presenti i valori della sensibilità al contrasto espressa in log 1/C dove C sta per contrasto.

I numeri presenti all'interno del grafico sono i valori della sensibilità al contrasto. Nella tabella sottostante sono esaminate le frequenze spaziali dei reticoli con sensibilità al contrasto risultante (Fig.3.5):

Riferimento	Frequenza spaziale (cicli/grado)	Sensibilità al contrasto (SC)							
<b>A</b>	0,75	3	5	9	15	27	54	92	130
<b>B</b>	1,5	4	7	12	20	35	70	120	170
<b>C</b>	3	5	9	15	24	44	85	170	220
<b>D</b>	6	6	11	21	45	70	125	185	260
<b>E</b>	12	5	8	15	32	55	88	125	170
<b>F</b>	18	4	7	10	15	26	40	65	90
	Riferimento	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>

Fig.3.5 Tabella dei reticoli con sensibilità al contrasto.

Il procedimento della misura della sensibilità al contrasto, viene ripetuto dopo la valutazione della quantità visiva. Questo procedimento permette di valutare se la correzione aiuti ad aumentare la qualità visiva, cioè sensibilità al contrasto. (Fig.3.6)

	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI
	0.75 pre	1.5 pre	3 pre	6 pre	12 pre	18 pre	0.75 post	1.5 post	3 post	6 post	12 post	18 post	diff 0.75	diff 1.5	diff 3	diff 6	diff 12	diff 18
1																		
2	27	170	220	70	0	0	92	170	220	70	0	0	65	0	0	0	0	0
3	54	170	220	21	32	0	92	170	220	260	125	90	38	0	0	239	93	90
4	92	120	220	125	32	10	92	170	220	260	88	40	0	50	0	135	56	30
5	92	170	220	260	125	40	54	170	220	260	170	26	-38	0	0	0	45	-14
6	3	4	5	185	55	15	54	120	220	260	170	26	51	116	215	75	115	11
7	92	170	220	260	88	4	130	170	220	260	88	26	38	0	0	0	0	22
8	54	70	44	21	15	0	130	170	220	260	170	65	76	100	176	239	155	65
9	54	120	170	45	15	0	92	170	220	260	170	7	38	50	50	215	155	7
10	130	170	85	21	55	26	130	170	220	260	170	4	0	0	135	239	115	-22
11	27	120	170	260	55	15	54	170	220	260	170	90	27	50	50	0	115	75
12	92	170	220	260	32	26	27	170	220	260	170	90	-65	0	0	0	138	64
13	92	170	220	185	32	10	130	170	220	260	125	15	38	0	0	75	93	5
14	54	170	220	185	32	0	54	170	220	185	88	15	0	0	0	0	56	15
15	92	170	220	70	0	0	54	170	170	260	15	4	-38	0	-50	190	15	4
16	5	120	85	185	55	10	130	170	220	70	32	10	125	50	135	-115	-23	0

Fig. 3.6 Differenza della sensibilità al contrasto prima e dopo la correzione dei soggetti.

I soggetti presi in esame e su menzionati, sono stati suddivisi per fasce d'età: 19-24, 25-30, 31-44, 45,60. Per ogni fascia d'età è stata calcolata la mediana campionaria del contrasto prima e dopo. (Fig.3.7)

C/G	0,75 pre	1,5 pre	3 pre	6 pre	12 pre	18 pre	0,75 post	1,5 post	3 post	6 post	12 post	18 post
19 - 24	54	120	220	260	55	12,5	54	170	220	260	88	15
25 - 30	54	170	220	125	32	7	54	170	220	260	170	26
31 - 44	73	170	220	127,5	23,5	10	111	170	220	260	125	40
45 in su	48,5	170	195	192,5	60	5,5	78,5	170	220	260	129	58

Fig. 3.7 Mediana della sensibilità al contrasto riferito alle fasce di età.

I risultati della mediana campionaria sono stati confrontati con l'istogramma a linee. I grafici qui presenti sono stati ottenuti in base alle fasce d'età esaminate (fig.3.8):

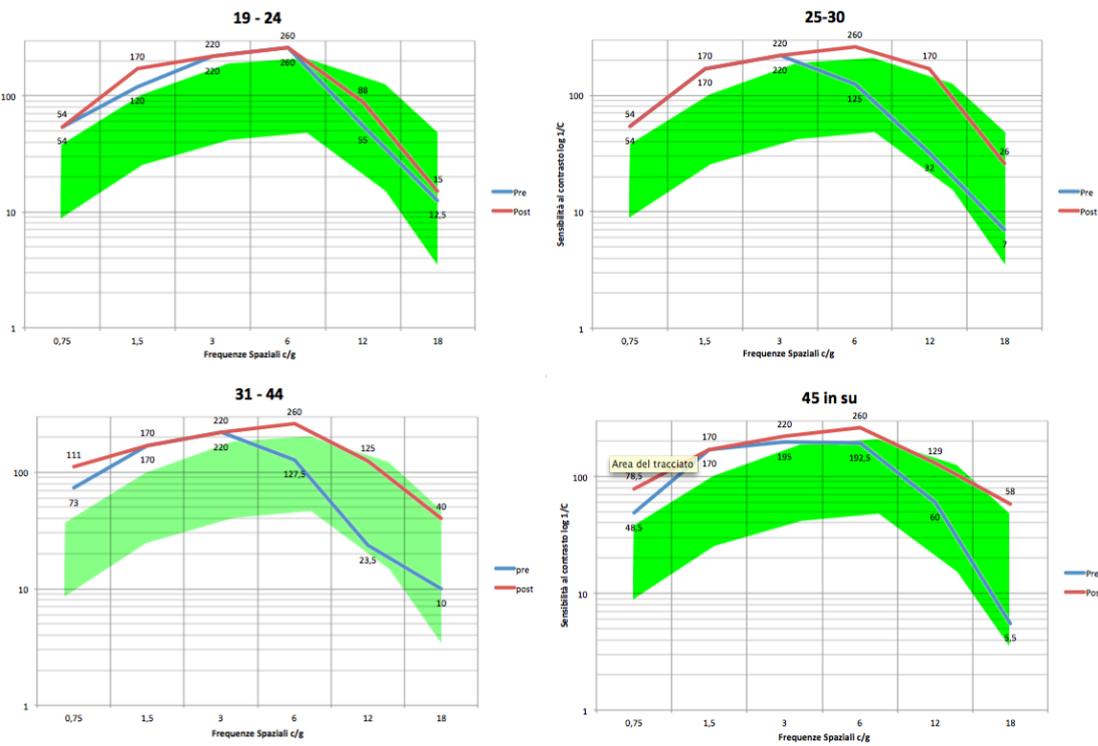


Fig. 3.8 CSF pre e post correzione in base alle fasce di età.

Osservando il grafico, la fascia d'età fra 19-24 anni si rileva una lieve differenza tra prima e dopo la correzione, la linea blu si riferisce alla pre-correzione, la linea rossa alla post-correzione e la fascia verde rappresenta il valore minimo-positivo della sensibilità al contrasto.

Nel grafico tra 25-30 anni si ha un notevole calo della sensibilità al contrasto da 6 c/g fino a 18c/g. Dopo la correzione la sensibilità al contrasto è aumentata tra 12 e 18 c/g. Rimane stabile la perdita delle alte frequenze anche la fascia d'età tra i 31-44 anni. Quindi con l'aumentare dell'età la perdita della sensibilità al contrasto si distribuisce in modo quasi uniforme nella curva della CSF. Nel grafico dai 45 anni in su vi è una perdita del contrasto quasi del tutto distribuita. Si nota che con l'aumentare dell'età aumenta l'assorbimento e la riduzione del diametro

pupillare quindi vi è un cambiamento di ametropia. Da tutti e quattro i grafici si evidenzia una progressione lineare, in base all'età della perdita della SC, ed un netto miglioramento per tutti post-correzione.

L'analisi dei campioni osservati ci ha permesso di analizzare la variazione della SC in base all'ametropia generale in particolare abbiamo esaminato l'astigmatismo. La tabella sottostante (fig.3.9) rappresenta la mediana campionaria della sensibilità al contrasto degli astigmatici pre e post correzione messi a confronto con i non astigmatici.

C/G	0,75 pre	1,5 pre	3 pre	6 pre	12 pre	18 pre	0,75 post	1,5 post	3 post	6 post	12 post	18 post
Non astig.	27	120	220	260	55	26	54	170	220	260	125	65
Astigmatico	54	170	220	185	55	8,5	92	170	220	260	125	15

Fig. 3.9. Mediana campionaria pre e post-correzione della SC dei non astigmatici e astigmatici.

Dopo la procedura di correzione per gli astigmatici si è compensato l'astigmatismo nei non astigmatici, in questo modo è stata valutata la sensibilità al contrasto pre e post correzione. (Fig3.10).

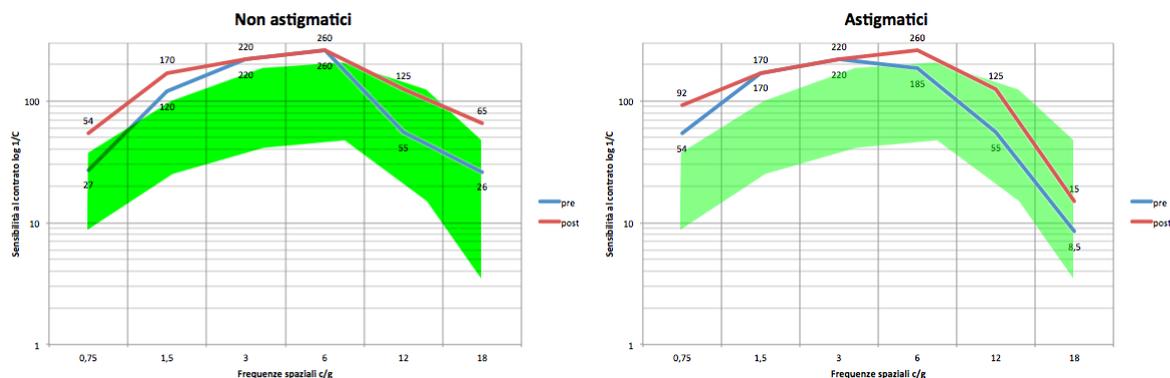


Fig.3.10 CSF pre e post-correzione dei non astigmatici e astigmatici.

Analizzando il primo grafico, i non astigmatici hanno una variazione tra il pre e post correzione. Il valore più basso è tra i 12-18 c/g. Nel post correzione la sensibilità al contrasto migliora nelle basse frequenze e per le alte che rappresentano il visus. Calcolando la mediana si è notato che una correzione cilindrica di -0.25 D migliora molto la qualità del visus. Per gli astigmatici effettivi nel post correzione si ha un miglioramento per le alte frequenze e si è notato che 30 soggetti hanno subito una variazione del cilindro.

## Conclusioni

La ricerca è tesa ad evidenziare l'utilità della valutazione della sensibilità al contrasto naturalmente unita ad altri test optometrici per la valutazione delle abilità visive. Ricordando che questo test fornisce un'analisi oculare molto precisa dato che ci permette di evidenziare perdite di risoluzioni non evidenziabili in altri modi. È un test importante ed affidabile ed è usato anche per il rilascio e rinnovo della patente di guida D.Lgs 59/2011. Nell'anamnesi iniziale di ogni singolo soggetto, che voglia sottoporsi ad un controllo della vista, la scelta del test della sensibilità al contrasto deve necessariamente rientrare in una serie di test proposti. Nella ricerca abbiamo dimostrato che alcune patologie possono essere evidenziate proprio da una sensibilità al contrasto alterata. Anche se ciò non rientra nei limiti professionali dell'optometrista questa misura può essere una spia per il patologo specialista, il quale poi affronterà la questione in relazione alle sue competenze. Negli anni di studi e durante questa ricerca è stato constatato che alcune patologie come il diabete, la fibromialgia, le alterazioni patologiche del sistema diottrico oculare e alterazioni neurali fanno evidenziare una sintomatologia che è possibile rilevare in una forte diminuzione della sensibilità al contrasto. Come è stato evidenziato nei grafici si è notato l'aumento di questa capacità relativamente alle correzioni optometriche apportate; con queste ultime si è avuto un miglioramento in determinate capacità visive e per prima l'acutezza visiva. Si sono notati anche cambiamenti, seppur minimi, della correzione refrattiva ed in particolar modo di quella cilindrica, questa ha avuto un aumento della sensibilità al contrasto che ha favorito l'aumentare dell'acutezza visiva e il miglioramento della qualità visiva anche se i valori sono rimasti invariati rispetto alla correzione. Infine con questa tesi si è voluto ancora una volta verificare una conoscenza già nota, ma che viene trascurata perché vi sono nuovissime tecnologie e il loro uso è preferito nella rilevazione della diottrica oculare, considerando anche che solo la misura AV è solo uno dei parametri fondamentali della correzione della vista. Nel caso specifico nella ricerca analizzata nella tesi i soggetti presi in esame sono stati suddivisi per fasce d'età: 19-24, 25-30, 31-44, 45-60; è stata usata la media campionaria per analizzare i risultati di quest'analisi. I risultati ottenuti sono stati poi confrontati con il grafico scelto: l'istogramma a linee. Osservando i grafici si è notato che nella fascia d'età 19-24 anni, vi è una lieve differenza tra prima e dopo la correzione; nella fascia d'età 25-30 il calo della sensibilità al contrasto è più marcato da 6 c/g a 18 c/g, e dopo la correzione la sensibilità è aumentata tra 12 e 18 c/g. Si è anche rilevato che rimane stabile la perdita delle alte frequenze anche nella fascia d'età tra i 31-44 anni. Possiamo quindi concludere che con l'aumentare dell'età la perdita della sensibilità al contrasto si

distribuisce in modo quasi uniforme nella curva della CSF. Ciò è dimostrato nel grafico dai 45 anni in su in cui vi è una perdita del contrasto quasi del tutto distribuita. Si nota altresì che con l'aumentare dell'età aumenta anche l'assorbimento e la riduzione del diametro pupillare e quindi vi è un cambiamento di ametropia.

Con questo lavoro, è stato confermato che trascurare la misura della sensibilità al contrasto può contribuire in modo negativo sul risultato qualitativo di una correzione refrattiva anche nel caso in cui il lavoro di misura, seppur lungo e laborioso, è stato solo considerato come un'aggiunta di lenti per acquisire qualche decimo refrattivo in più. In conclusione il Polar-test qui utilizzato è uno strumento molto utile nella ricerca poiché il sistema visivo non elabora nello stesso modo, tutte le frequenze spaziali e le può trasmettere su diversi canali. La ricerca ha evidenziato una progressione lineare in base all'età della perdita della SC e di un netto miglioramento per tutti post correzione. Quindi il test eseguito con il POLAR TEST ha permesso di valutare la misura della sensibilità al contrasto sia nel campo optometrico che in quello clinico, poiché offre informazioni per individuare delle patologie che influenzano in maniera diversa la trasmissione di ogni frequenza oltre ad essere un indicatore funzionale della qualità della visione.

*I nostri occhi ricevono vaghe immagini delle cose, rovesciate e distorte ed il risultato è  
che noi vediamo. (R. L. Gregory)*

## Ringraziamenti

Alla fine di questo elaborato, mi sembra doveroso ringraziare tutte le persone che, con il loro supporto, mi hanno aiutato in questo meraviglioso percorso di approfondimento delle conoscenze acquisite durante gli anni universitari. Nella stesura di questa tesi, è stato per me fondamentale il supporto di tante persone: senza il loro aiuto il mio lavoro non sarebbe stato così completo e il mio percorso sarebbe stato sicuramente più difficile.

Per prima cosa vorrei ringraziare, il mio relatore, il *Professore Michele Gagliardi* per la disponibilità, per l'infinita pazienza che ha dimostrato e per i suggerimenti dati per tutte le difficoltà che il percorso di studi ha presentato; rimanete sempre il Professore che siete, AMICO degli studenti. *GRAZIE*.

Un grazie sentito a Clemente e Sonia, titolari del negozio OROTTICA, in cui ho svolto attività di tirocinio formativo, per l'ospitalità e per aver arricchito le mie conoscenze sul campo. *GRAZIE*.

A Margherita, guida per tanti ragazzi che come me hanno avuto l'onore e il piacere di conoscerti in primis durante gli anni scolastici e poi da supporto sempre più forte durante gli anni universitari. Questo lavoro di tesi lo devo anche a te, e come dici sempre tu a me, ora tocca dirlo a me *GRAZIE INFINITE*.

Non posso non ringraziare le due persone che hanno avuto più influenza nel mio percorso educativo: i miei genitori. Grazie per avermi aiutato a superare i momenti più difficili, senza i vostri insegnamenti, la vostra comprensione e il vostro sostegno non sarei mai potuta arrivare fino a qui; Grazie anche te, mio caro fratello Aniello, pezzo della mia vita importante e fondamentale soprattutto per la pazienza che hai con me quando mi arrabbio.

Voglio ringraziare una persona unica e speciale, che da ben tredici anni è al mio fianco, Francesco, il mio fidanzato, il mio migliore amico, la mia spalla su cui piangere. Abbiamo affrontato insieme questo cammino, passo dopo passo, giorno dopo giorno, superando tutte le difficoltà, festeggiando insieme ogni vittoria e rialzandoci più forti di prima dopo ogni sconfitta. In questi anni ci siamo sempre sostenuti l'un l'altro, ci siamo incoraggiati, ci siamo confrontati e abbiamo fatto tanti sacrifici. Grazie per essere stato sempre al mio fianco in ogni momento, e per avermi sempre incoraggiata dicendomi che potevo farcela, e anche oggi, in questo giorno importante, sei qui con me a festeggiare insieme questo mio traguardo, questa mia vittoria...che non è solo la mia, ma la nostra vittoria! *GRAZIE*.

Ai miei suoceri Lidia e Antonio, persone semplici e uniche che mi hanno sempre dato supportato morale in qualsiasi situazioni che la vita presenta. *GRAZIE*.

Alla cara Nonna Grazia, donna dal temperamento forte, nonostante la sua età, che non dimostra affatto di avere, grazie per l'affetto che non mi hai mai fatto mancare, e per essere sempre orgogliosa di me.

Ai miei nonni, Francesco, Aniello e Filomena, a Zio Momo (Padre Giuseppe) e al caro Don Ermanno che oggi non possono essere qui con me, ma che spero mi guardino da lassù e che siano orgogliosi di me e della donna che sono diventata. *GRAZIE*

Un ringraziamento generale, ma non per questo meno importante, va a tutti i miei, zii, cugini, che nel mio cuore hanno sempre un posto, li ringrazio per il loro interesse e per l'appoggio avuto nei miei confronti, li ringrazio perché hanno partecipato anche loro in questo percorso continuando a starmi vicina. Non me ne vogliano gli altri cugini, ma un grazie speciale va a Serena e Maria, "le mie commarelle", a Serena per aver collaborato nella produzione delle slide di presentazione della mia tesi; a Maria "sorella maggiore" per essere stata da cavia per i test della mia tesi, grazie per essere sempre presente sempre nella mia vita.

Ci sono poi molte altre persone che meriterebbero di essere ringraziate per il ruolo chiave che hanno avuto in questi anni accademici, ma voglio ritagliare un piccolo spazio per Anna, amica con cui ho trascorso tutti questi anni di università, anche se il mio percorso si è concluso in tempi diversi il nostro legame è rimasto forte e saldo e grazie per ogni momento trascorso insieme; per Raffaella e Giuliana "le gemelle" che in questo ultimo periodo di studio hanno avuto, per me, un ruolo fondamentale spronandomi sempre che potevo riuscire in questo obiettivo, e a loro dico *GRAZIE*.

Grazie anche a te Nicola (segreteria dipartimento di fisica) per aver dato risposta a ogni mia domanda, soprattutto in questo ultimo periodo di preparazione documenti per la seduta di laurea.

....semplicemente grazie...

## Sitografia

- <https://clinmedjournals.org/articles/ijocr/international-journal-of-ophthalmology-and-clinical-research-ijocr-7-116.php>
- <https://areaoftalmologica.com/it/blog/neuro-oftalmologia/percepcion-visual-y-sensibilidad-a-la-luz-y-el-contraste/#Calidad-del-sistema-optico>
- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3744596/>
- [https://win.pisavisionlab.org/teaching/burr/VISIONE\\_DEL\\_CONTRASTO.pdf](https://win.pisavisionlab.org/teaching/burr/VISIONE_DEL_CONTRASTO.pdf)
- [Percezione visiva e sensibilità alla luce - Área Oftalmológica Avanzada \(areaoftalmologica.com\)](#)
- [Sensibilità al contrasto: che cos'è e come viene esaminato? \(allaboutvision.com\)](#)
- <https://www.yumpu.com/it/document/read/16452211/manuale-duso-completo-winfitt-rodstock>
- <http://www.dueffetecnovision.it/2f2/test-della-sensibilita-al-contrasto/>
- <http://www.federica.unina.it/corsi/fisica-tecnica-ambientale-illuminotecnica/>
- <http://www.vectorvision.com/contrast-sensitivity-background/>
- <http://www.contrast-sensitivity-test.com/contrast-sensitivity-test.html>
- <https://www.cg.tuwien.ac.at/research/theses/matkovic/node20.html>
- <http://www.hemianopsia.net/contrast-sensitivity-loss/>
- <https://prezi.com/5xe8c8hftain/sensibilidad-al-contraste-y-agudeza-visual/>
- <http://somosoptometristas.com/alteraciones-en-la-capacidad-de-vision-de-contraste/>
- <http://www.stereooptical.com>
- <http://www.contrastsensitivity.net>
- <http://www.rodstock.com>

## Bibliografia

1. Anatomia & Fisiologia (Martini, Eides)
2. G. P. Paliaga (1993) L'esame del Visus, edizioni Minerva Medica.
3. Campbell FW, Robson J. Application of the Fourier analysis to the visibility of gratings. J. Physiol.
4. Ferdinando Catalano (2014). Fondamenti di Ottica della Visione, Piccin
5. Pietro Palladino (2002), Lezioni di Illuminotecnica, Tecniche nuove.
6. Manuale di optometria e contattologia- Anto Rossetti e Pietro Gheller
7. Contattologia. Una guida clinica, Lupelli Luigi; Fletcher Robert H.; Rossi Angela L.(2004).
8. Abrahamsson, M. and Sjöstrand, J. (1986) Impairment of contrast sensitivity function (CSF) as a measure of disability glare. Investigative Ophthalmology & Visual Science.
9. Arditi, A. (2005) Improving the design of the letter contrast sensitivity test. Investigative Ophthalmology & Visual Science.
10. Occhio e cervello. La psicologia del vedere, Gregory Richard L.(1998).