

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

Differenza di sensibilità al contrasto tra correzione a tempiale e lenti a contatto

Relatori:

Prof. Michele Gagliardi

Candidato:

Concetta Lamontagna
Matricola M44000624

A.A. 2022/2023

Indice

Introduzione.....	3
Capitolo 1 – Processo della visione.....	4
1.1 La percezione visiva e le sue componenti anatomiche.....	4
1.2 Trasformazione neurale della retina.....	7
1.3 Distribuzione di coni e bastoncelli nella retina.....	7
1.4 Tratto ottico e elaborazione nella corteccia visiva.....	10
Capitolo 2 - Metodi di valutazione.....	11
2.1 Caratteristiche generali della CSF.....	11
2.2 Applicazioni della CSF.....	13
2.3 I fattori che influenzano la sensibilità al contrasto.....	16
Capitolo 3 - Metodi di valutazione.....	22
3.1 Come si misura la SC?.....	22
3.2 Test per misurazione della SC.....	23
3.3 Il Polar test.....	31
3.4 Funzione contrasto.....	33
Capitolo 4 – Elaborazione dei dati e valutazione dei risultati.....	35
4.1 Modalità di raccolta dati.....	36
4.3 Conclusioni.....	44
Bibliografia.....	46
Sitografia.....	47

Introduzione

La visione è un insieme di molteplici funzioni che, cooperando tra esse, danno vita al processo visivo. Questo non è dato solamente dal corretto funzionamento e dall'integrità delle strutture anatomiche ma anche dall'elaborazione dello stimolo stesso il quale avviene a livello della corteccia visiva. Tra i vari aspetti che concorrono alla visione vi è la sensibilità al contrasto che consiste nella percezione della variazione di intensità luminosa tra zone contigue durante il processo visivo. Questo lavoro di tesi ha come obiettivo quello di illustrare tale funzione del sistema visivo sia anatomicamente, descrivendo le strutture coinvolte, che funzionalmente, analizzando i risultati ottenuti da un campione di popolazione che, seppur ridotto, ha comunque fornito un risultato utile a commentare diverse condizioni.

In particolare sono state confrontate le curve di sensibilità al contrasto ottenute misurando la differenza di correzione tra lenti a contatto e lenti oftalmiche mediante l'utilizzo dello strumento Polar (Rodenstock).

Capitolo 1 – Processo della visione

1.1 La percezione visiva e le sue componenti anatomiche

La visione è uno dei processi fondamentali dell'essere umano, che ci consente di percepire e interpretare il mondo che ci circonda. Attraverso l'occhio e il cervello, siamo in grado di raccogliere, elaborare e comprendere le informazioni visive, che influenzano profondamente la nostra esperienza e interazione con l'ambiente.

L'occhio (Figura 1.1), ha una forma approssimativamente sferica con un diametro di circa 24 mm in un individuo adulto. Il sistema ottico dell'occhio è composto principalmente da due lenti: la cornea e il cristallino, oltre a due sostanze trasparenti chiamate umor acqueo e umor vitreo.

Il primo mezzo diottrico che incontra la luce è la cornea. È una struttura trasparente avascolare e ricca di terminazioni nervose. Permette il passaggio dei raggi luminosi verso le strutture interne dell'occhio e concorre a mettere a fuoco le immagini sulla retina. Ha un diametro di 12 mm e uno spessore centrale di circa 0,6 mm. L'indice di rifrazione della cornea è di circa 1,366 e il suo potere diottrico medio è compreso tra 40 e 44 diottrie.

Subito dietro la cornea si trova la camera anteriore, divisa virtualmente dalla camera posteriore grazie all'iride. Entrambe le camere contengono l'umor acqueo, che nutre la cornea. Posteriormente all'iride si trova il cristallino.

L'iride è una struttura pigmentata a forma di anello che funge da diaframma muscolare e regola il diametro della pupilla, il foro centrale attraverso cui la luce entra nel sistema visivo. Il diametro della pupilla può variare da 2 mm a 8 mm in un adulto giovane. Questa variazione è influenzata dal livello di illuminazione e controlla la quantità di luce che raggiunge la retina svolgendo un ruolo importante nella qualità della stimolazione retinica. Un diametro maggiore della pupilla favorisce l'aberrazione ottica¹, mentre un diametro più piccolo migliora la profondità di fuoco e limita l'aberrazione, anche se può causare effetti di diffrazione² maggiori.

Dopo aver attraversato la pupilla, la luce raggiunge il cristallino, una struttura trasparente controllata dal muscolo ciliare. Il cristallino può modificare la sua forma al fine di ottenere un'immagine nitida sulla retina. L'indice di rifrazione del cristallino varia da 1,42 a 1,39 da centro a periferia.

Successivamente, passa attraverso la camera vitrea posteriore, riempita di una sostanza gelatinosa che conferisce consistenza al bulbo oculare. Infine, raggiunge il fondo dell'occhio dove si trova la retina.

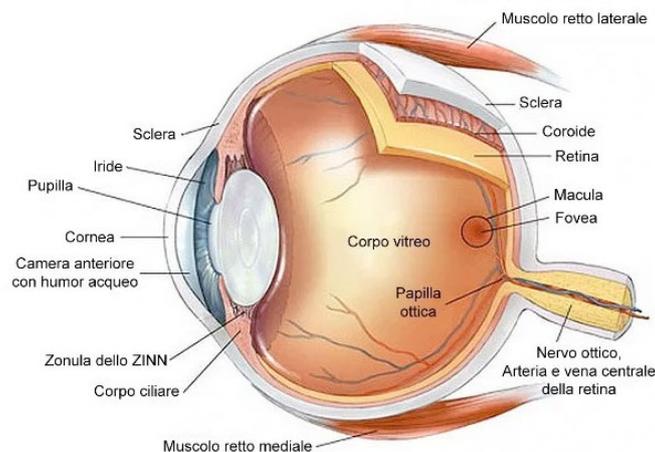


Figura 1.1: Occhio Umano

La retina (Figura 1.2) è una membrana che contiene fotorecettori chiamati coni e bastoncelli. Queste cellule si eccitano quando ricevono stimoli luminosi adeguati e trasformano l'energia elettromagnetica in segnali elettrochimici. I coni sono responsabili della visione fotopica (diurna) e della percezione dei colori, mentre i bastoncelli sono altamente sensibili alla luce e permettono la visione scotopica (notturna). Nella zona intermedia in cui entrambi i tipi di fotorecettori partecipano, si parla di visione mesopica.

La visione fotopica è la visione dovuta unicamente all'attività dei coni della retina. Si tratta del tipo di visione che si ha quando il livello di illuminazione è normale (luce del giorno), e permette di rilevare differenze cromatiche.

La retina è stratificata in diverse zone funzionali e dopo che la luce la attraversa, attraversa una serie di membrane raggiungendo i coni e i bastoncelli. Questo passaggio attraverso un

tessuto non omogeneo genera una diminuzione dell'acuità visiva. Tuttavia, nella zona centrale della retina, chiamata macula lutea, i vasi sanguigni e gli strati che la compongono non interferiscono con i coni, migliorando così l'acuità visiva.

La macula lutea è la parte della retina responsabile della visione nitida e della percezione dei dettagli. Ha una depressione al centro chiamata fovea centrale, che ha un diametro di circa 1,5 mm. La fovea è composta esclusivamente da coni, che sono responsabili della rilevazione dei dettagli dell'immagine, a differenza dei bastoncelli che sono più presenti nella periferia della retina.

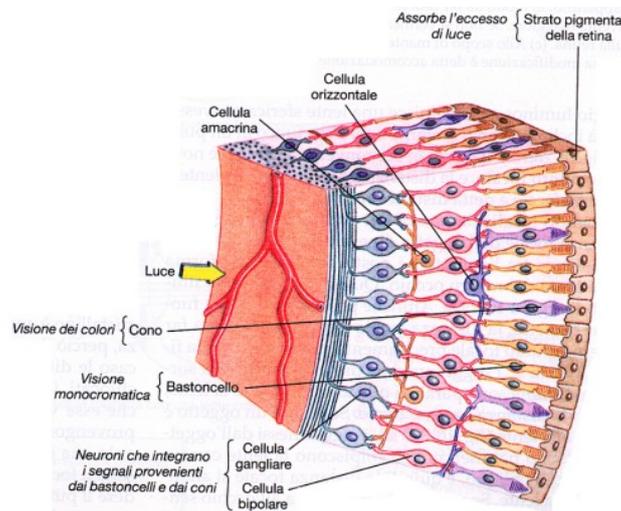


Figura 1.2: La retina

¹ L'aberrazione ottica è la differenza tra l'immagine effettiva, reale o virtuale, formata dal sistema e l'immagine che si voleva ottenere, immagine che di solito è bidimensionale e consiste in una proiezione geometrica della scena reale sul piano focale del sistema secondo i principi dell'ottica geometrica ideale. Le aberrazioni possono dare scarsa nitidezza, deformazioni dell'immagine, differenze tra le immagini corrispondenti ai diversi colori, non uniformità della luminosità.

² Il fenomeno della diffrazione si incontra ogni volta che la luce incontra un ostacolo o un'apertura di dimensioni paragonabili alla sua lunghezza d'onda. L'effetto della diffrazione è quello di allargare il fascio di luce originario dando origine a figure di interferenza.

1.2 Trasformazione neurale della retina

Nella retina oltre ai fotorecettori, si può individuare la presenza di tre tipi di cellule quali orizzontali, amacrine e bipolari. Queste connessioni determinano diverse vie di trasmissione dell'informazione all'interno delle cellule retiniche, a seconda della loro posizione sulla retina.

Nella fovea, ogni cono si connette direttamente a una cellula bipolare e successivamente a una cellula gangliare, seguendo un percorso lineare. Man mano che ci si allontana dalla fovea, più fotorecettori convergono sulle cellule bipolari, e il numero maggiore di queste è costituito dalle cellule gangliari. Inoltre, la distribuzione dei fotorecettori nella retina, è irregolare e più o meno simmetrica rispetto alla fovea.

1.3 Distribuzione di coni e bastoncelli nella retina

Questa distribuzione (Figura 1.3) consente un'ampia angolazione di visione e una risoluzione spaziale elevata a livello locale, facilitando il movimento continuo degli occhi per mettere a fuoco gli oggetti di interesse sulla fovea. Un campo recettivo può essere definito come un'area della retina in cui convergono segnali provenienti dai fotorecettori (coni e bastoncelli), le cui risposte influenzano le cellule di elaborazione visiva più avanzate, ovvero le cellule gangliari. Prima di inviare segnali visivi al cervello, viene eseguita un'elaborazione intensa delle informazioni retiniche. Le cellule gangliari non sono mai in uno stato di riposo e la loro attività spontanea è regolata dai fattori derivanti dagli interneuroni retinici (orizzontali e amacrine).

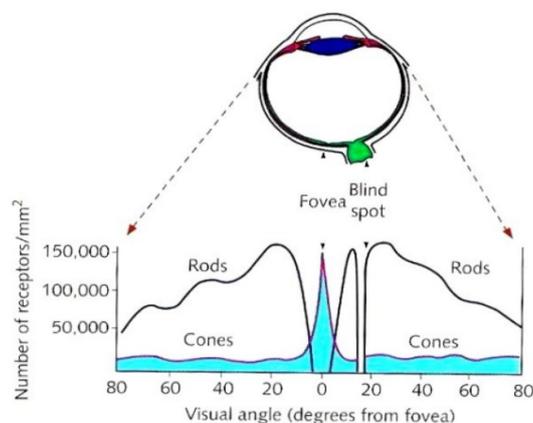


Figura 1.3

Le cellule gangliari (Figura 1.4) possono essere distinte in due sottoclassi: cellule "ON" (eccitatorie) centrali e cellule "OFF" (inibitorie) periferiche. Entrambe le tipologie sono presenti in numero approssimativamente uguale e forniscono due vie parallele per l'analisi delle informazioni sensoriali. Ciò avviene perché ogni fotorecettore invia segnali ad entrambi i tipi di cellule gangliari. Non tutte le cellule gangliari hanno un campo recettivo diviso in centro e periferia. Ad esempio, alcune cellule gangliari misurano la luminanza³ complessiva del campo visivo, che è importante per il controllo dei riflessi pupillari, e hanno campi recettivi semplici che non sono divisi in centro e periferia antagonista. Questa interazione è nota come inibizione laterale ed è uno dei processi fondamentali nella spiegazione di molti fenomeni percettivi, in particolare per la percezione del contrasto invece dei livelli di intensità assoluta della luce. Inoltre, i campi recettivi delle cellule gangliari differiscono nelle dimensioni da una cellula all'altra. I centri dei campi recettivi sono più piccoli nella fovea e diventano più grandi man mano che ci si allontana da essa. Ciò spiega ulteriormente il fatto che l'acuità visiva sia maggiore nella fovea. Le dimensioni del campo recettivo sono legate alla frequenza spaziale, in modo che le cellule con campi recettivi più grandi chiamate anche cellule "ombrello" rispondano alle basse frequenze spaziali, mentre quelle con campi più piccoli (cellule gangliari minuscole) rispondano alle alte frequenze spaziali.

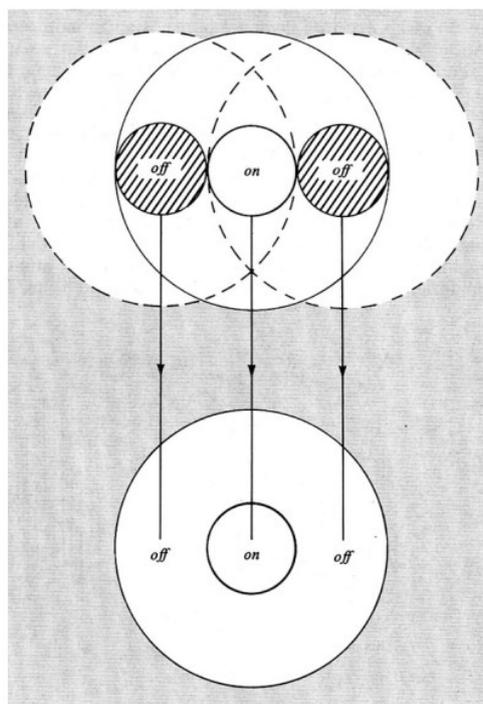


Figura 1.4: Cellule ON/OFF

Le cellule ombrello sono particolarmente sensibili ai movimenti e non discriminano le lunghezze d'onda. Si trovano nella retina periferica e si estendono dagli strati magno cellulari del corpo genicolato laterale. Al contrario, le cellule gangliari minuscole nella fovea ricevono input da un singolo fotorecettore e lo trasmettono a una singola cellula gangliare, generando una risposta tonica⁴ e generalmente non sono sensibili al movimento, ma alle diverse lunghezze d'onda. Lo stimolo proviene principalmente dalla regione maculare, che proietta esclusivamente sul corpo genicolato laterale e sugli strati parvocellulari.

Esistono prove che la funzione di sensibilità al contrasto sia mediata da caratteristiche spazio-temporali dei primi neuroni nel percorso magno e parvocellulare, e il sistema magnocellulare domina vicino alla soglia di rilevamento, svolgendo probabilmente un ruolo chiave nella sensibilità al contrasto acromatico. In conclusione, il messaggio inviato dall'occhio al cervello tramite il nervo ottico non tiene conto dell'intensità assoluta della luce, ma indica il risultato di un confronto tra la quantità di luce che colpisce un punto specifico della retina e la quantità media di luce che illumina la sua periferia immediata. Ciò consente di vedere lo stesso oggetto in diverse condizioni di illuminazione.

³ La luminanza è una misura della luce emessa da una superficie (direttamente o per riflessione) ed è indicata dall'intensità della luce, espressa in candela, per unità di area (cd/m²).

⁴ Risposta Tonica: sono quei recettori che non si adattano o che si adattano molto lentamente e che, appena attivati, scaricano ad alta frequenza e che poi, di solito, rallentano un po' la frequenza ma continuano a scaricare per tutto il tempo in cui agisce uno

stimolo di intensità costante.

1.4 Tratto ottico e elaborazione nella corteccia visiva

Dopo che le informazioni lasciano il bulbo oculare, continuano lungo la via visiva fino ad arrivare alla corteccia visiva primaria (V1), come mostrato nella Figura 1.5.

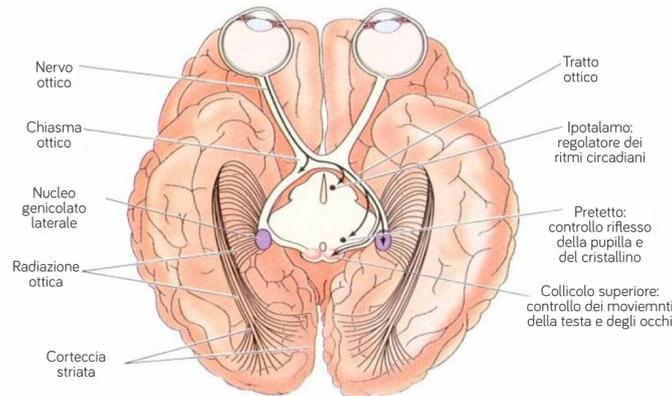


Figura 1.5: La corteccia visiva

Il tratto ottico è una continuazione del nervo ottico che si estende fino al chiasma ottico, da cui si dirige verso diverse aree del cervello. La corteccia visiva ha tre funzioni principali:

1. Analizza il mondo visivo suddividendolo in segmenti lineari con diverse direzioni. Questo ci aiuta a riconoscere forme e movimenti.
2. Separare le informazioni relative al colore da quelle che riguardano le forme e il movimento.
3. Combina i segnali provenienti dai due occhi per iniziare a percepire la profondità.

In conclusione, il sistema visivo umano, come descritto, è modulare e parallelo, e può essere suddiviso fondamentalmente in tre fasi: la fase ottica (avvicinamento), la fase della retina (trasduzione del segnale luminoso in impulsi elettrici) e la fase cerebrale (elaborazione).

Capitolo 2 – La sensibilità al contrasto

La sensibilità al contrasto è la capacità degli occhi di individuare le varie tonalità di uno stesso colore. Di norma, questa sensibilità è molto elevata ma può venir meno nel caso in cui l'occhio sia affetto da malattie del nervo ottico o da malattie che compromettono la trasparenza dei mezzi visivi (cataratta). È possibile riscontrare questa capacità in diverse situazioni quotidiane come l'utilizzo di dispositivi elettronici, la guida durante la nebbia, lettura di un libro ecc. Per la precisione, la sensibilità al contrasto è una funzione che misura la capacità di discriminare oggetti in condizioni di luminosità variabile e misura la capacità retinica di percepire le differenze di illuminazione tra un oggetto e lo sfondo. La sensibilità al contrasto è quindi fondamentale per la percezione visiva, poiché consente di distinguere gli oggetti dallo sfondo e di riconoscere i dettagli delle immagini. La sua valutazione può essere importante in molte situazioni, come ad esempio nella diagnosi e nel monitoraggio di patologie oculari, nella scelta delle correzioni ottiche più appropriate per ogni paziente e nella valutazione della sicurezza nella guida e in altre attività che richiedono una buona percezione visiva.

2.1 Caratteristiche generali della CSF

La curva della funzione della sensibilità al contrasto (CSF – Figura 2.1) di onde sinusoidali è costituita per tenere la forma come un filtro a passa-banda (U rovesciata), dispositivo passivo che permette il passaggio di frequenze all'interno di un dato intervallo ed attenua le frequenze al di fuori di esso. I livelli di illuminazione variano a seconda della sensibilità che si riduce all'aumentare della frequenza spaziale⁵.

⁵ La frequenza spaziale esprime il numero di cicli per unità angolare. Un ciclo rappresenta l'insieme di una zona scura e

una zona chiara del reticolo, cioè la distanza che separa un punto dell'onda con una certa fase dal punto successivo con la stessa fase.

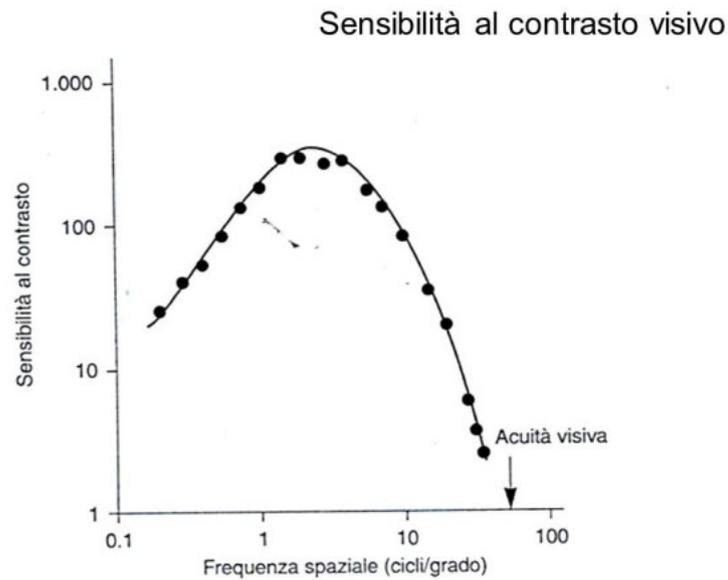


Figura 2.1: la curva della sensibilità al contrasto

Il primo punto all'apice della curva rappresenta il picco della sensibilità al contrasto (valore massimo della S_c fra 3 e 5 cicli per grado). Il punto all'estremità inferiore destra della curva che corrisponde al massimo potere risolutivo è considerato la misura dell'acuità visiva. La CSF è simile ad un'onda quadra ad alte frequenze ma con una pendenza a zero per le basse frequenze (Figura 2.2)

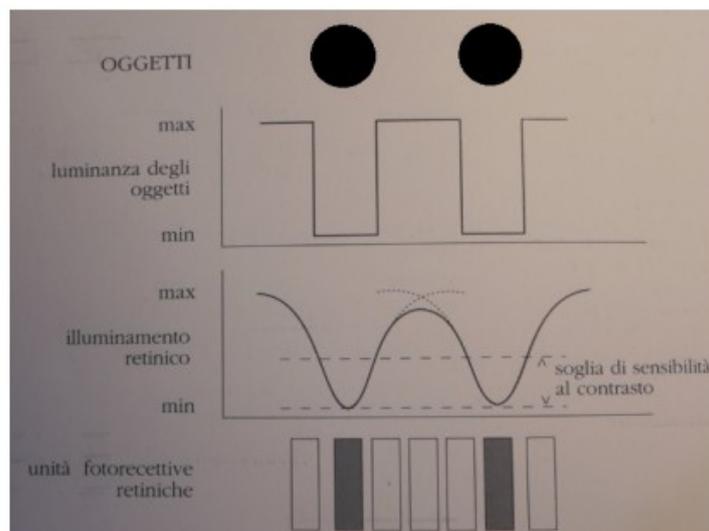


Figura 2.2: Onda Quadra e Onda Sinusoidale

Le onde sinusoidali vengono usate per la valutazione dei sistemi ottici; perchè l'immagine non è influenzata dalla sfocatura, aberrazione o diffrazione della luce. Solo il contrasto e la posizione spaziale saranno influenzati dal passaggio attraverso il sistema ottico, misurando la differenza tra l'uscita (output) e l'ingresso (input) di ciascuna componente sinusoidale determinando l'MTF (Modulation Transfer Function) o funzione di trasferimento di modulazione di un sistema ottico.

Nel caso del sistema visivo viene eseguito il sistema inverso riducendo il contrasto di una rete sinusoidale, mantenendo la luminanza media costante fino a raggiungere la soglia, l'inverso di questo livello di contrasto è la sensibilità al contrasto. Questa misura viene ripetuta per diverse frequenze spaziali e in questo modo si otterrà la CSF.

L'analisi di Fourier per l'elaborazione dell'immagine del sistema visivo è possibile solo se tale sistema è lineare ed omogeneo, questo avviene solo quando si lavora con piccole variazioni di luminosità che non riguarda certo il sistema visivo in generale il quale dipende da vari parametri quali la luminanza media, il colore, posizione del campo visivo, dimensioni dello stimolo; solo con questi parametri è possibile determinare la CSF.

2.2 Applicazioni della CSF

La CSF è uno strumento importante per la misurazione della funzione visiva sia nel campo clinico che nel campo optometrico.

Una perdita della sensibilità al contrasto incide molto di più di una perdita di acuità visiva sulla qualità di compiti come guardare (di notte, le distanze o muoversi). Ad influire sul riconoscimento dei volti è la perdita di sensibilità alle medie e basse frequenze spaziali.

I metodi per determinare la CSF sono divisi in due gruppi:

- Psicofisici → viene fatta esaminare la persona attraverso una risposta verbale o comportamentale, questa procedura però è una procedura lunga e non da una risposta completa della CSF
- Elettrofisiologici → di tipo oggettivo sempre per la misura della CSF viene usato soprattutto nella ricerca, esso viene fatto attraverso esami clinici atti ad individuare difetti della retina, delle vie ottiche o del cervello

I test computerizzati sono considerati il metodo clinico più affidabile anche se la loro ripetibilità e validità richiedono un'attenta valutazione dei diversi fattori (tra cui Reeves). Nella maggior parte dei casi, gli stimoli prediletti per misurare la sensibilità al contrasto sono i reticoli sinusoidali (Gabor Patch) che consistono nell'accostamento periodico di 11 bande chiare e scure che rappresentano i massimi e i minimi di luminanza (figura 2.3).

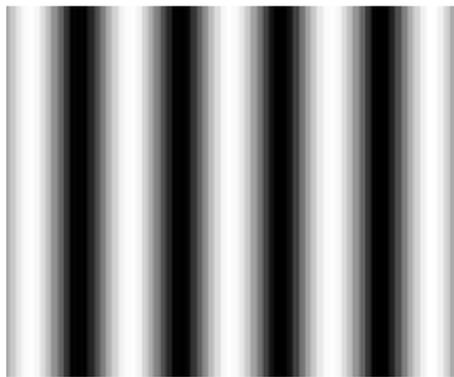


Figura 2.3: Esempio di reticolo sinusoidale

Queste bande sono disposte in modo parallelo tra loro e possono assumere diverse direzioni: orizzontale, verticale o obliqua. Inoltre il loro spessore è inversamente proporzionale alla frequenza spaziale considerata, infatti se la larghezza delle bande è piccola la frequenza spaziale analizzata sarà alta, viceversa quando la larghezza è elevata la frequenza spaziale sarà bassa. Tali reticoli sono descritti da quattro parametri variabili:

- **luminanza media**, rappresenta il valore medio intorno al quale la luminanza varia in modo sinusoidale
- **frequenze spaziali**, sono il numero di variazioni periodiche (alternanza di barre chiare e scure) della luminanza nell'unità di angolo visivo e sono misurate in cicli per grado (c/g). Inoltre la loro entità contribuisce alla variazione di larghezza delle bande componenti i reticoli. Oltre a ciò, sommando le informazioni fornite dalle basse frequenze spaziali e quelle fornite dalle alte frequenze spaziali si ottiene l'immagine di ciò che stiamo osservando.
- **ampiezza**, rappresenta la metà della misura tra un picco e un incavo della funzione sinusoidale (la luce si esprime attraverso una senoide), quindi indica la distanza tra un picco e l'asse delle ascisse
- **fase**, è la traslazione della senoide rispetto all'origine

Nel caso di un reticolo sinusoidale il contrasto, conosciuto come contrasto di Michelson si misura come: $C = (L_{max} - L_{min}) / (L_{max} + L_{min})$

Il contrasto presentato da un reticolo potrà avere caratteristiche diverse secondo che la modifica della luminanza, a livello della traslazione fra bande chiare e scure, avvenga bruscamente o gradualmente.

Quando la luminanza passa bruscamente dal livello massimo al livello minimo, la rappresentazione grafica di questa alterazione produce quella che viene chiamata ONDA QUADRA. Se invece la transizione della luminanza massima a quella minima avviene in modo graduale si realizza il profilo di un'ONDA SINUSOIDALE (Figura 2.4).

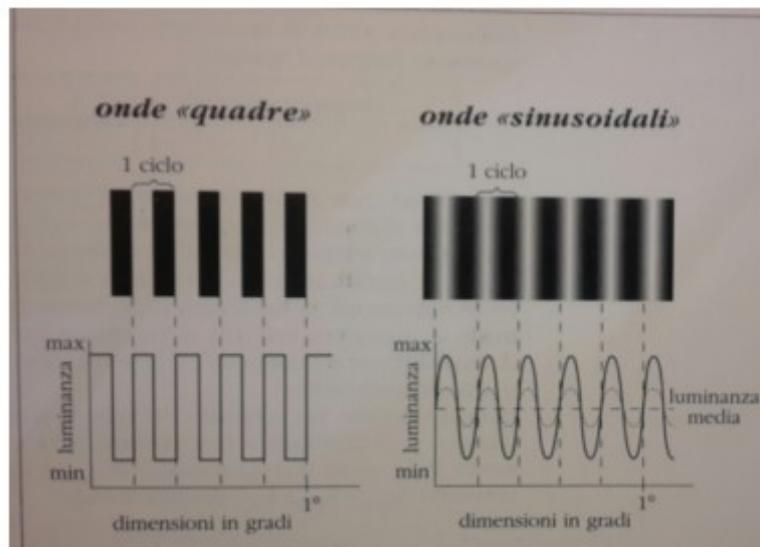
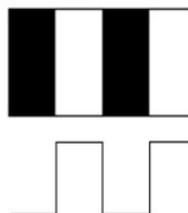


Figura 2.4: Onda Quadra e Onda sinusoidale (dimensione in gradi)

$$C = (\text{luminanza sfondo} - \text{luminanza carattere}) / \text{luminanza sfondo}$$

In una tavola optometrica che presenta simboli o griglie con stimoli ad **onda quadra** il contrasto può essere quantificato dalla relazione di Weber:

$$\text{Frazione di Weber} = \frac{L_s - L_t}{L_s}$$



La frazione di Weber indica la relazione tra la portata fisica di uno stimolo e la percezione umana dell'intensità di tale stimolo. L_s è uno stimolo e L_t è lo stesso stimolo ma percepito dall'umano, la legge di Weber introduce la soglia differenziale che produce l'incremento minimo che rende percepibile la differenza fra i due stimoli. La capacità discriminativa (misurata dalla soglia differenziale) che tende a diventare sempre peggiore al crescere dell'intensità dello stimolo è una proprietà generale dei sistemi sensoriali. La legge di Weber riflette quindi un aspetto adattivo della percezione – il sistema biologico è dotato della possibilità di modificare la sensibilità in funzione dell'ordine di grandezza dello stimolo.

2.3 I fattori che influenzano la sensibilità al contrasto

La sensibilità al contrasto dipende da vari fattori: fisiologico, ambientali ecc.

- **FATTORI FISIologici:** con la nascita e durante l'invecchiamento si modifica la funzionalità del sistema visivo, infatti la sensibilità al contrasto nel primo mese di vita è dieci volte minore che nell'adulto e l'AV non supera 1 ciclo/grado. Dopo i 60 anni a causa della riduzione del diametro pupillare e dei fattori neurali, vi è la riduzione della sensibilità e della funzionalità del sistema visivo.
- **FATTORI AMBIENTALI:** il principale fattore che interferisce sulla CSF è la luminanza dello sfondo cioè l'illuminamento retinico⁶ (quantità di luce che arriva direttamente alla retina); se decresce la CSF tende a spostarsi verso sinistra facendo in modo che le alte frequenze spaziali si spostano verso frequenze spaziali più basse.

- **ORIENTAMENTO DEL RETICOLO:** L'essere umano è più sensibile a reticoli con orientazione orizzontale e verticale, rispetto a quella obliqua che si evidenzia in alte frequenze spaziali.
- **DIMENSIONE DEL TEST:** La CSF è indipendente dalla dimensione del test quando sottende più 2° dell'angolo visivo, ma se inferiore una diminuzione della sensibilità sarà osservata nella zona media e a basse frequenze spaziali.
- **DIAMETRO PUPILLARE:** La pupilla è un'apertura circolare posizionata al centro dell'iride, che permette alla luce di penetrare nella parte posteriore del bulbo oculare; essa varia con l'intensità della luce. La dimensione della pupilla determina la funzione di trasferimento del sistema di modulazione e il valore della sua frequenza di taglio⁷.
- **LUCE BLU:** La luce blu è un tipo di luce nello spettro della luce visibile, con l'energia più alta e la lunghezza d'onda più corta. Essa è emanata oltre che dal sole, da fonti artificiali come telefoni, cellulari, tablet e computer, televisori LED a schermo piatto e lampadine fluorescenti. Un eccessivo uso di questi strumenti può portare un affaticamento visivo, quando ciò accade il cristallino viene colpito si rifrange e costringe l'occhio ad una continua messa a fuoco. Grazie all'utilizzo di filtri speciali il contrasto aumenta e gli occhi si affaticano di meno percependo il colore in modo naturale.
- **AMETROPIE:** è una disfunzione causata da un difetto visivo dell'occhio, in base al quale ciò che si guarda risulta non messo a fuoco correttamente, in questo modo l'occhio non riesce più a riconoscerei dettagli più fini di un oggetto essendo sfuocato ma può ancora riconoscere gli oggetti più grandi. La perdita delle alte frequenze spaziali è tanto più estesa quanto più elevata è l'ametropia che coincide con l'acutezza visiva.

⁶ L'illuminamento retinico è una unità fotometrica che si riferisce alla quantità di luce che arriva direttamente alla retina.

Viene espresso in troland e si misura moltiplicando la luminanza di una superficie per l'area pupillare espressa in mm².

⁷ Proprietà dei filtri che in base alle frequenze inferiori o superiori passano alte e basse.

- **FATTORI CORRETTIVI:** i sistemi correttivi occhiali, lenti a contatto, chirurgia refrattiva possono alterare la CSF. Con gli occhiali l'alterazione della SC dipende dalle lenti, da tipo di filtro e dal decentramento della lente. Con le lenti a contatto si può verificare una modifica della SC a causa dei depositi, disidratazione o mancanza di uniformità del film lacrimale. Con l'Ortocheratologia (tecnica non chirurgica impiegata per la correzione di difetti visivi) si ha la correzione refrattiva reversibile grazie all'uso notturno di lenti a contatto per rimodellare la cornea durante il sonno. Anche la chirurgia refrattiva può modificare la sensibilità a contrasto. Essa produce buoni risultati riguardo l'acuità visiva ma è scarsa riguardo la vista in condizioni di scarso contrasto: visione notturna, nebbia, al crepuscolo (luminosità del cielo prima del sorgere del sole e al tramonto). In presenza di un astigmatismo miopico composto il soggetto viene nuovamente sottoposto al test della sensibilità al contrasto con correzione e il grafico della CSF è migliorato nelle alte frequenze.
- **FATTORI PATOLOGICI:** La CSF è influenzata sia da patologie del sistema visivo (che riducono la vista) che da patologie sistemiche (riduzioni di tipo neurale cioè danni ai nervi del cervello). Tra le patologie del sistema visivo che influenzano la sensibilità al contrasto troviamo il cheratocono, l'edema corneale, la cheratocongiuntivite secca, la cataratta, il glaucoma, l'ambliopia, le degenerazioni maculari, l'edema maculare, la neurite ottica, lesioni delle vie ottiche e nelle aree visive cerebrali.

Tra le patologie generali troviamo: il diabete, il morbo di Parkinson, il morbo di Alzheimer, la dislessia, l'insufficienza renale cronica, la sclerosi multipla, fibromialgia, l'AIDS.

Purtroppo le singole patologie oculari non hanno diversi tipi di alterazioni della CSF che avrebbe reso l'esame della sensibilità al contrasto uno strumento preciso, così sono stati proposti vari sistemi di classificazione suddivisi in 3 tipi di pattern di alterazione (Figura 2.5).

- 1) Nel primo tipo si ha una perdita di sensibilità alle alte frequenze spaziali con SC normale per le basse frequenze che appaiano nella fase iniziale della malattia come la cataratta, cheratocono o maculopatia.

- 2) Nel secondo tipo sopraggiunge col progredire della malattia che porta la perdita di sensibilità che coinvolge tutte le frequenze spaziali come nelle fibromialgie .
- 3) Il terzo tipo mostra una SC normale alle alte frequenze e SC ridotta alle basse frequenze spaziali come della neurite ottica, sclerosi multipla, glaucoma, diabete, lesioni del campo visivo, Alzheimer e dislessia.

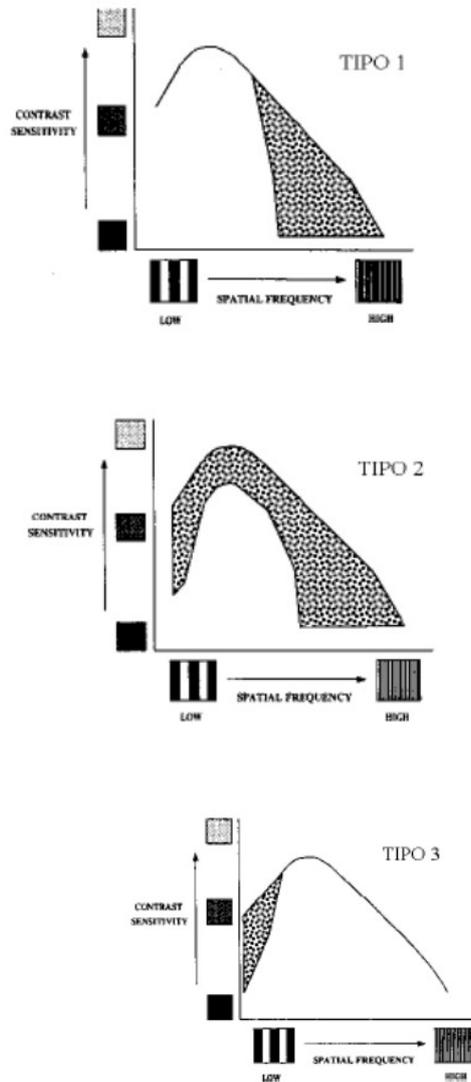


Figura 2.5: Alterazioni della CSF

Capitolo 3 - Metodi di valutazione

3.1 Come si misura la SC?

La sensibilità al contrasto è la capacità dell'occhio di percepire stimoli con contrasto diverso. Minore è il contrasto percepibile dell'occhio, maggiore è la sua SC.

Un'unità di misura che indica quante ripetizioni di tratti scuri e chiari entrano in un grado è "Cicli per grado". Nei reticoli la variazione di luminanza segue un andamento ciclico e l'insieme di una banda chiara ed una scura costituisce un ciclo. Le dimensioni dei reticoli si possono esprimere indicandone la frequenza spaziale, ossia il numero di cicli contenuti in una superficie di ampiezza angolare pari ad un grado (da qui \wedge cicli per grado \wedge). A parità di superficie, maggiore sarà la frequenza spaziale (il numero di cicli) minore sarà l'ampiezza dei cicli che costituiscono il reticolo e viceversa. Quindi nella valutazione della SC non si usano i decimi per misurare la dimensione dello stimolo ma si usano i cicli/grado.

Lo stimolo per la Sc è l'alternanza del tratto chiaro-scuro. Nella E di Albin (Figura 3.1) possiamo vedere la rappresentazione del ciclo. Mentre per misurare le lettere si considera solo il tratto nero, nel contrasto si considera l'alternanza chiaro/scuro. Sappiamo che un'AV di 10/10 è data da un tratto nero che sottende 1' (1 grado è formato da 60') e lo spazio bianco ha la stessa dimensione del tratto nero quindi in totale 2': il ciclo di 2' si ripete 30 volte in un grado ($30 \times 2 = 60$) quindi una lettera di 10/10 ha tratti di 30 cicli/grado.



Figura 3.1: Numero di cicli che compongono una lettera

3.2 Test per misurazione della SC

Come già detto La misura della CSF viene effettuata attraverso una serie di test che possono essere ad onda quadra oppure ad onda sinusoidale. I test della sensibilità al contrasto si sono sviluppati allo scopo di avere una risposta veloce all'esame.

Possono essere diversi tipo:

- Test che individuano la CSF misurando più frequenze spaziali.
- Test che misurano una sola frequenza spaziale a diversi livelli di contrasto.
- Test che misurano varie frequenze spaziali ad un solo livello di contrasto.

Tra i test del primo tipo troviamo il test di Arden, il Vistech, il CSV-1000, il FACT e il TSC di ROSSETTI.

➤ TEST DI ARDEN

Ideato da Arden nel 1978, formato da 6 schede rettangolari con un reticolo sinusoidale di differenze frequenze spaziali per ogni scheda. In ogni tavola il contrasto decresce da basso in alto raggiungendo lo zero al bordo superiore.



Figura 3.2: Test Di Arden

Ogni tavola durante l'esame viene prima coperta e poi in modo graduale scoperta al fine di presentare il reticolo della zona di minor contrasto. La persona sottoposta all'esame deve indicare quando le barre appaiono visibili. La sensibilità al contrasto viene calcolata facendo la media della somma dei punteggi che vanno da 1 a 20.

Purtroppo la ripetibilità del test di Arden (Figura 3.2) si è rivelata bassa e oggi non è più in commercio ed è stato sostituito in versione computerizzata che ha migliorato di molto gli aspetti procedurali.

➤ VISTECH CST e FACT

Diffuso da Ginsburgnel 1984, il Vistech CST (Figura 3.3) consente di misurare la curva della sensibilità al contrasto. Il test si compone di vari reticoli sinusoidali messi

in due tavole distinte per lontano (VCT 6500) da somministrare a 3 metri e vicino (VCTS 6000) a 40 cm.

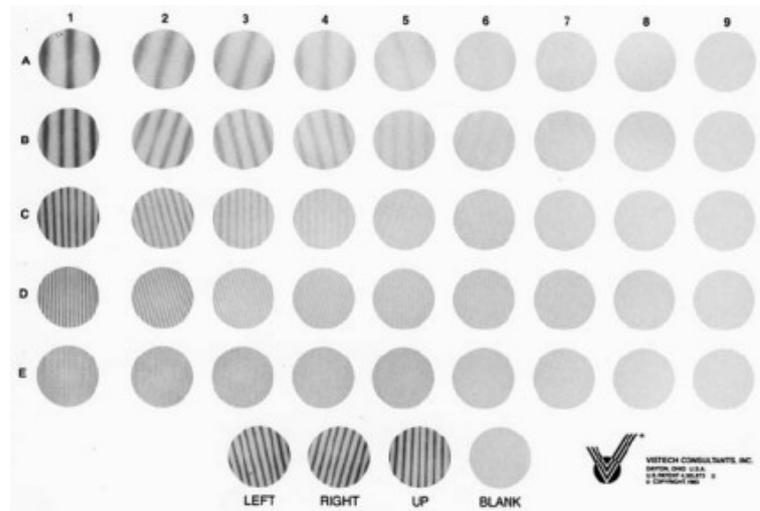


Figura 3.3: VCTS 6500

Ogni tavola è composta da 40 dischi contenenti i reticoli disposti su 5 righe con diverse frequenze spaziali (1.5.3.0.6.12.0 e 18.0 cicli per grado) e con contrasto decrescente lungo l'asse orizzontale.

I reticoli possono essere orientati in tre direzioni (verticale e 15° verso sinistra o verso destra).

L'osservatore partendo da sinistra verso destra e su ogni riga deve indicare la direzione del reticolo contenuto in ogni disco. I dati ottenuti vengono segnati sul foglio di registrazione. (Figura 3.4).

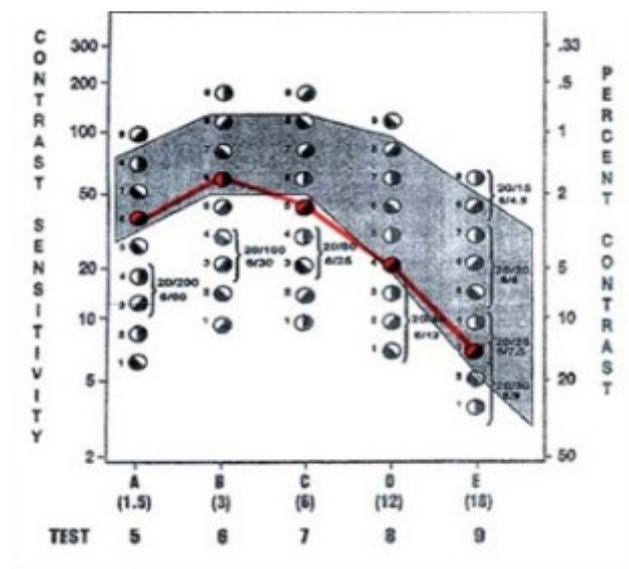


Figura 3.4: Grafico VCTS

L'ultimo cerchio indica la misura di sensibilità al contrasto valutata in ogni frequenza spaziale. La zona grigia nel grafico, rappresenta l'area di normalità misurata col Vistech. Ovviamente col tempo il test è stato rivisitato in una nuova forma: Functional Acuity Contrast Test (FACT) per migliorare il contrasto che è stato abbassato a 0.15 unità log. Il FACT usato ancora oggi la cui ripetibilità dipende dalla luminosità e dal tipo di soggetti testati. A differenza della prima versione, i dischi sono del tipo di Gabor e Patch (Figura 3.5); ed è stato aggiunto un livello di contrasto.

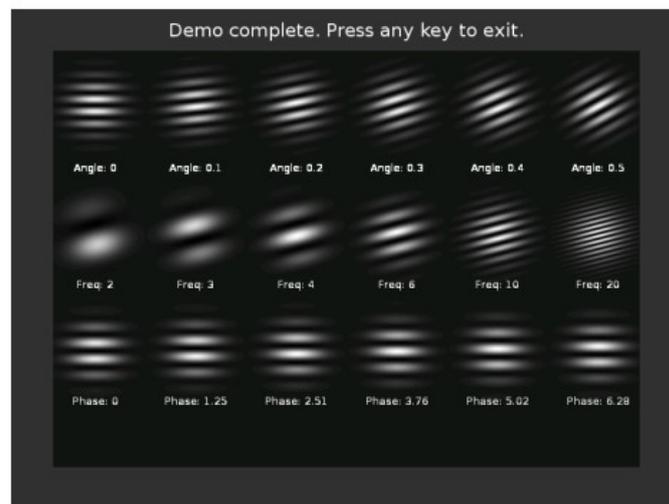


Figura 3.5: Reticoli di Gabor Patch (dischi modificati)

➤ CSV-1000

Esso usa reticoli sinusoidali circolari posto ad una distanza di 3 metri. Il test è composto da 4 file di stimoli associati a 4 frequenze spaziali, ogni fila è composta da 8 coppie di cerchi, uno sopra l'altro. La procedura è di tipo discendente, l'osservatore deve indicare, partendo da sinistra in quale dei due dischi contiene il reticolo. Il CSV-1000 (Figura 3.6) è uno strumento affidabile per il monitoraggio clinico dei cambiamenti indotti dal diabete sulla sensibilità al contrasto. In sintesi il CSV-1000 è uno strumento per i test della sensibilità al contrasto, retinopatia diabetica e abbagliamento.

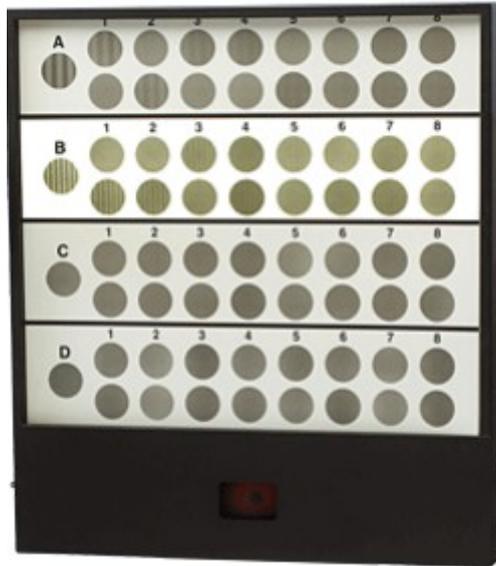


Figura 3.6: CSV-1000

➤ TSC di Rossetti

Esso è un test su carta patinata opaca, economico e semplice per la sensibilità al contrasto nello screening visivo.

Ogni riga è composta da 7 E (Figura 3.7), le prime sulla sinistra hanno alto contrasto, circa il 90% e man mano il contrasto diminuisce dello 0.25 unità.

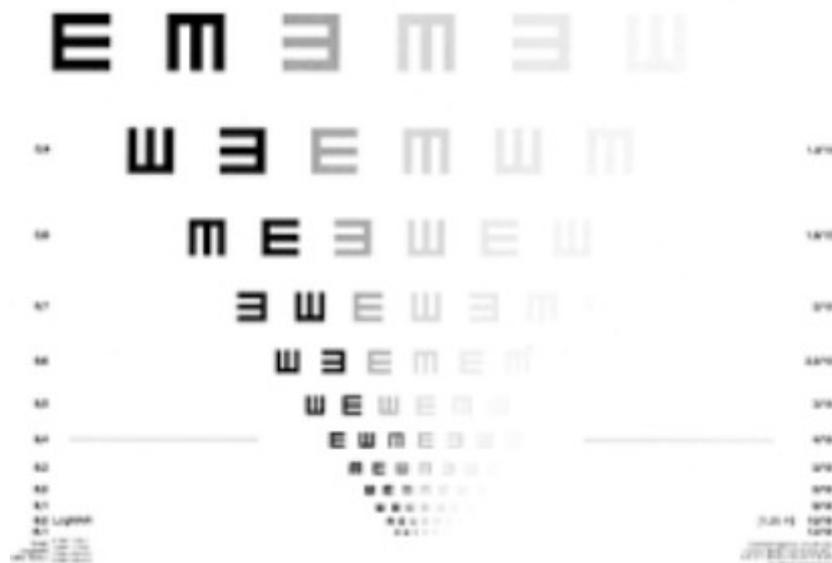


Figura 3.7: TSC di Rossetti

La risposta ai TSC può essere usata per valutare il soggetto con correzione, per evidenziare perdite di risoluzione che l'acuità standard non evidenzia e quindi è più precisa l'analisi refrattiva.

Tra i test che misurano una sola frequenza spaziale a diversi livelli abbiamo: Tavole di Pelli Robson e Small Letter Contrast test di Robin e Wicks e l'ottotipo di Wang e Pamerantzeff.

➤ TAVOLE DI PELLI ROBSON

Esse servono per l'esecuzione dei test di sensibilità al contrasto, consentono di valutare le capacità di distinguere le lettere con un contrasto gradualmente inferiore rispetto allo sfondo bianco.



Figura 3.8: Tavole di Pelli Robson

L'esame è di tipo discendente e viene chiesto comunque di leggere le lettere allo scopo di valutare problemi neurologici.

➤ SMALL LETTER CONTRAST TEST DI ROBIN E WICKS

Esso a differenza di Pelli Robson testa una frequenza alta, ogni linea del test contiene 10 lettere e tra ogni linea il contrasto decresce di 0.10 unità logaritmiche. Questo test non ha avuto molto successo.

➤ OTTOTIPO DI WANF E POMERANTZEFF

È una tavola (Figura 3.9) costituita da un insieme di 4 schede di AV con contrasto variabile. Vi sono le E di Snellen che decrescono dall'alto verso il basso a una distanza di 3 metri. Vi sono caratteri neri su sfondo bianco e un contrasto che va da 90% fino a 2.5%, mentre l'ultima lettera dell'ottotipo ha un contrasto inverso del 90% (lettere bianche su sfondo nero)

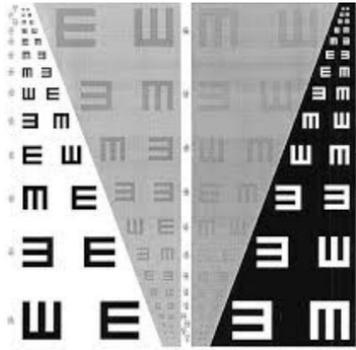


Figura 3.9: Ottotipo di Wang e Pomerantzev

➤ TAVOLE DI REGAN

Esse misurano varie frequenze spaziali ad un solo livello di contrasto. Con la misura dell'acuità a basso contrasto si riuscivano ad individuare perdite visive in soggetti con diabete, ipertensione, morbo di Parkinson a cui l'acuità visiva ad alto contrasto non era visibile. La ripetibilità del test si è rivelata buona anche in condizioni di abbagliamento. Le tavole sono composte da 8 lettere per riga di font sloan.

➤ TAVOLE DI BAILEY-LOVIE A BASSO CONTRASTO

Esse hanno lo stesso numero di lettere per linea (5), hanno una progressione logaritmica delle grandezze tra le varie linee ($0,1 \log \text{MAR}$). Il test è di tipo discendente ed è a scelta forzata cioè obbliga il soggetto a leggere la tavola. La differenza di acuità a basso contrasto pende dalla parte destra della CSF. La ripetibilità delle tavole di Bailey-Lovie è buona.

➤ TEST DI SNELLEN

Il Test di Snellen (Figura 3.10) è disponibile a diversi livelli di contrasto. Con le seguenti immagini si ricerca la soglia di AV per un determinato livello di contrasto. I contrasti che sono impostati all'installazione si riconducono alla scala logaritmica.

Tutti i parametri del test sono modificabili.

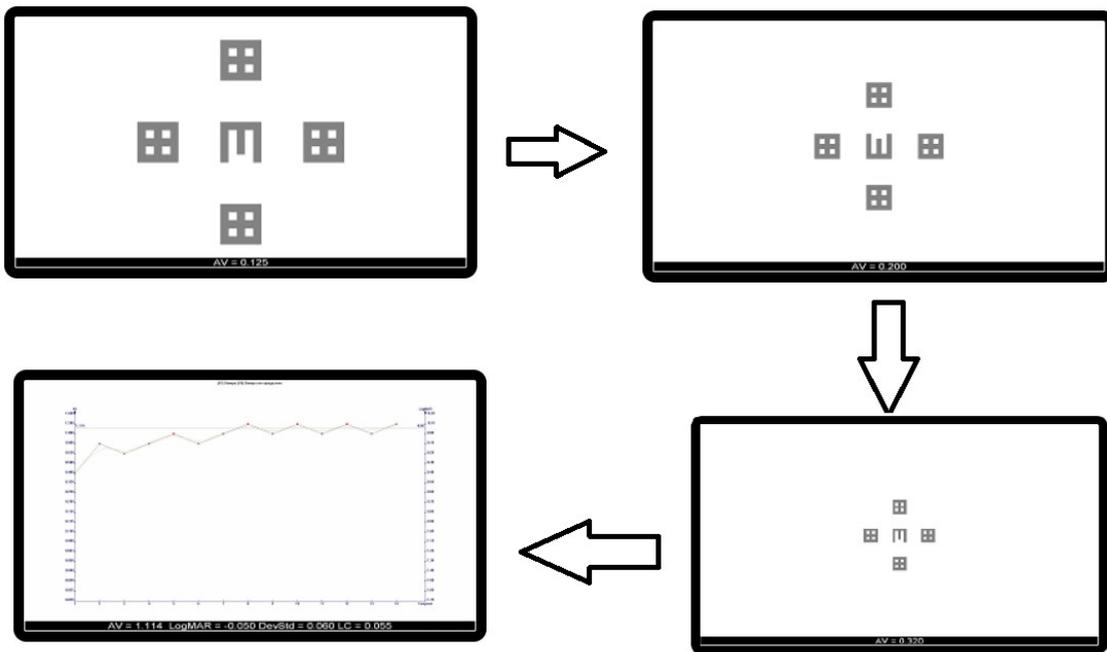


Figura 3.10: Test di Snellen

➤ TEST GENERATI ELETTRONICAMENTE

Oggi grazie all'elettronica i test per la misurazione della sensibilità al contrasto si avvale di strumenti computerizzati con display a cristalli liquidi (LCD). Molte aziende oftalmiche hanno iniziato a produrre ottotipi computerizzati su monitor LCD (a cristalli liquidi) inserendo in essi dei test per la valutazione della sensibilità al contrasto.

Questi sistemi hanno molti vantaggi di seguito elencati:

- Generano qualsiasi tipo di stimolo (lettere, reticoli)
- Generano ampi raggi di frequenza spaziali a contrasto.
- Gestisce qualunque procedura psicofisica registrando e riducendo la durata del test.
- Indipendenza dell'illuminazione esterna.

Tra i vari tipi di dispositivi utilizzati abbiamo: l'opect, il multivision contrast test e il polar test. L'opect (Figura 3.11) è un sistema automatico che fornisce la misura della sensibilità al contrasto e sensibilità all'abbagliamento.

Il test utilizza lo stesso ottotipo del test FACT con l'aggiunta di una sorgente radiale di abbagliamento.



Figura 3.11: L'opect

➤ Il Multivision Contrast Tester (MCT 8000)

Esso (Figura 3.12) misura la CSF a basse e alte frequenze con e senza fonte di abbagliamento che può essere centrale o periferica; viene raccomandata come tecnica di screening iniziale.



Figura 3.12: Dispositivo MCT

3.3 Il Polar test

Per misurare la sensibilità al contrasto si può utilizzare lo strumento Polar. Il Polar, nello specifico è un sistema che emette segnali luminosi di differente intensità e contrasto. Il soggetto viene esposto a tali segnali e deve segnalare quando riesce a distinguere la loro presenza. I dati ottenuti vengono elaborati in grafici che mostrano la curva di sensibilità al contrasto per ogni soggetto.

In sintesi, quindi, è uno strumento elettronico professionale utilizzato per la valutazione quantitativa e qualitativa del visus.

Questo strumento è costituito da uno schermo computerizzato a cristalli liquidi (LCD) ad alta risoluzione, luminosità e contrasto, integrato con un'unità computerizzata nella stessa custodia del monitor. Il sistema utilizza le ultime tecnologie per presentare al paziente centinaia di migliaia di tavole di test visivi, in base alle preferenze impostate o richieste, come la distanza schermo-paziente, il valore di acuità visiva (AV), il contrasto, ecc.

Il telecomando permette di impartire all'unità centrale i comandi necessari per la scelta e la presentazione dei diversi test o protocolli di valutazione del visus, come la carta di Snellen, il test di Landolt, il test di Vernier, e molti altri.

È quindi uno strumento utilizzato dagli specialisti dell'ottica e dell'optometria per valutare la funzione visiva dei pazienti, in particolare per la diagnosi e il monitoraggio della miopia, l'astigmatismo, la presbiopia, e altre condizioni che possono influenzare la qualità della visione.

Il software è composto da due parti, quella dei TESTS per l'esecuzione della visita del paziente e quella di SETUP per la configurazione e personalizzazione del prodotto.

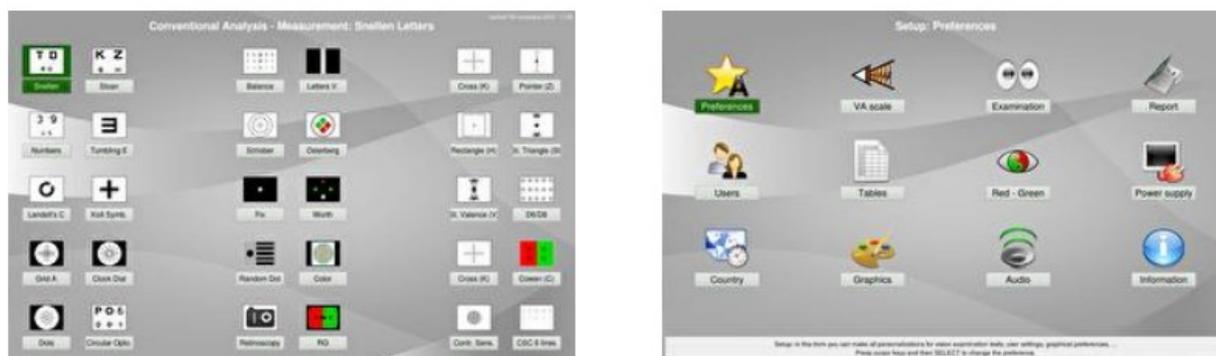
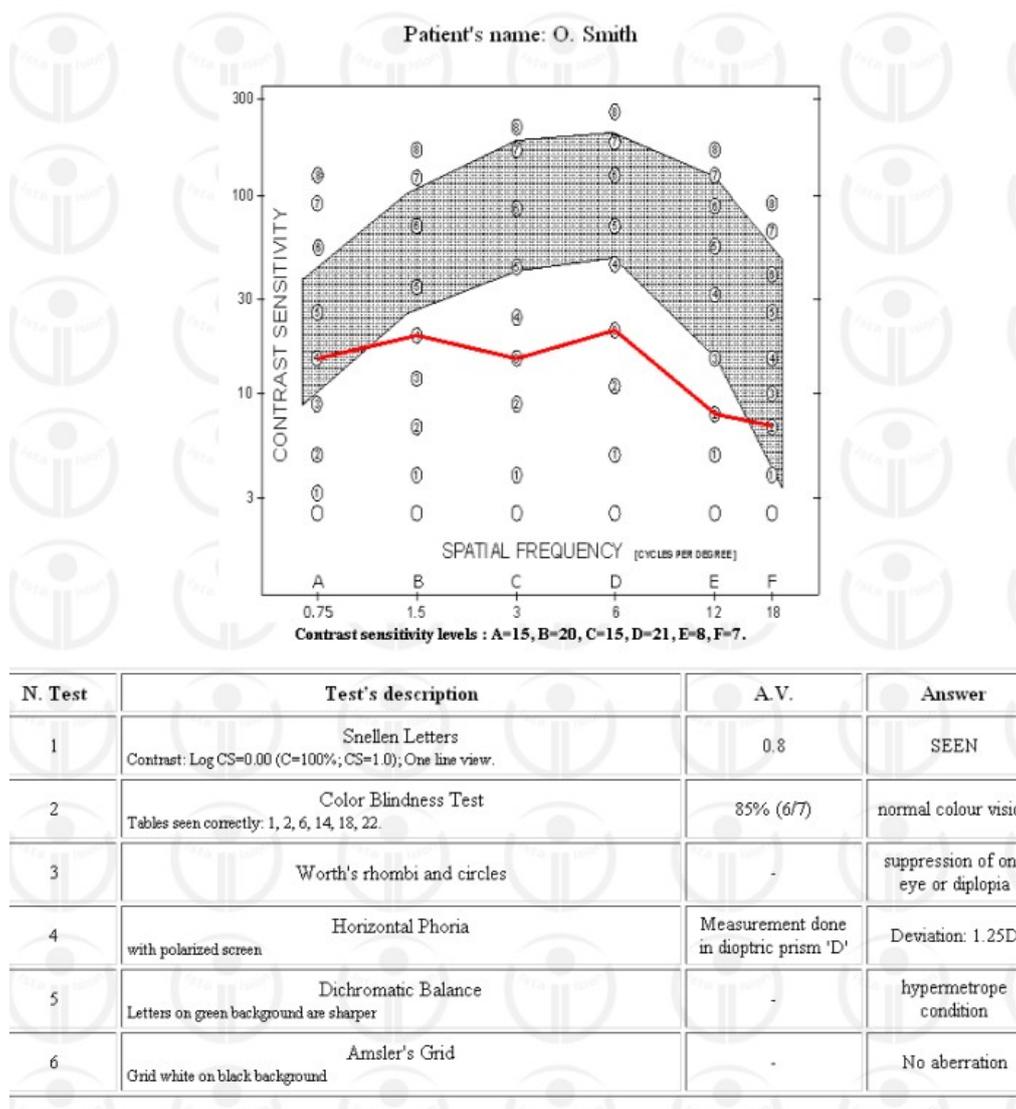


Figura 3.13: Polar Test Rodenstock

Il POLAR (RODENSTOCK) permette di memorizzare su report i valori misurati e/o le valutazioni qualitative-quantitative determinate attraverso esso. Chi desidera memorizzare i

risultati della visita paziente deve, prima di iniziare l'esame della vista per poi abilitare tale funzione.

Si riporta di seguito, come esempio, un report memorizzato dallo strumento:



Il report può memorizzare i dati clinici dei test presentati.

3.4 Funzione contrasto

Il POLAR implementa una scala di contrasto a 13 valori tutti calcolati secondo la scala Log SC (sensibilità al contrasto logaritmica). Tale funzione è disponibile per gli stimoli "scuri"

presentati su sfondo chiaro. La percentuale del contrasto viene calcolata con la seguente formula (michelson):

$$C = \frac{L_o - L_s}{L_s} \%$$

Dove:

- L_o : Luminanza stimolo visivo in primo piano [cd/m²]
- L_s : Luminanza sfondo [cd/m²]
- C : Contrasto [adimensionale]
- Sc : Sensibilità al contrasto = $1/C$ [adimensionale]
- $LogSC$: logaritmo della Sensibilità al contrasto [adimensionale] tramite il quale è possibile variare il contrasto degli stimoli presentati.

I valori di contrasto sono stati scelti in maniera equispaziata utilizzando la scala Log SC con passo 0.15; ciò consente una valutazione più precisa ai bassi valori di contrasto; i 13 valori sono di seguito elencati:

LogSC	0.00	0.15	0.30	0.45	0.60	0.75	0.90	1.05	1.20	1.35	1.50	1.65	1.95
C	100%	70%	50%	35%	25%	18%	13%	9%	6%	4.3%	3.2%	2.2%	1.1%
SC	1.0	1.4	2.0	2.8	4.0	5.6	8	11	16	22	32	45	90

Si ricorda che il POLAR può essere configurato per l'uso in ambienti normalmente luminosi o poco luminosi. Indipendentemente dalla preferenza scelta, le affermazioni ed i valori qui riportati rimangono validi.

Capitolo 4 – Elaborazione dei dati e valutazione dei risultati

Lo scopo di questo lavoro di tesi è stato quello di illustrare la sensibilità al contrasto, il ruolo che svolge nella visione e come questa abilità visiva possa essere quantificata alla stregua di tutte le altre abilità che concorrono al miglior comfort visivo possibile. Per l'esecuzione è stato utilizzato lo strumento Polar (Rodenstock) e successivamente, analizzati i referti di ciascun soggetto in esame, confrontando la differenza nelle curve di sensibilità a contrasto per i soggetti portatori di lenti oftalmiche (a tempiale) o lenti a contatto.

Non tutte le abilità visive vengono valutate e spesso addirittura sottovalutate ma il lavoro di un optometrista è proprio quello di considerare, in primis, i disturbi di un soggetto e la scelta di un numero indirizzato di test atti ad ottenere una visione confortevole.

Le scelte correttive o compensative a portata di un professionista sono diverse ma quelle che dirigono verso una l'una o l'altra sono spesso influenzate da indicazioni degli stessi soggetti che necessitano delle medesime correzioni.

Ovviamente le due principali sono quelle di lenti a tempiale (occhiali) o lenti a contatto: queste ultime dovrebbero essere sempre valutate apprezzando le competenze di un contattologo. La contattologia è una scienza nella scienza ossia una branca della stessa optometria che prevede protocolli applicativi più complessi e che devono necessariamente corrispondere al rispetto della fisiologia del segmento anteriore del bulbo oculare.

La piccola ricerca qui svolta ha teso ad evidenziare la presenza di differenze percettive tra le due diverse tipologie correttive in uno stesso soggetto. La sensibilità al contrasto è stata valutata in 20 soggetti di età compresa tra 19 e 26 che utilizzano entrambe le tipologie correttive. Per ognuno di essi sono stati riportati valori riguardanti:

- Età
- Correzione sfera e/o cilindro con occhiali

- Correzione sfera e/o cilindro con lenti a contatto
- Tipologia di lenti a contatto

I valori sono stati riportati in una tabella strutturata come rappresentata di seguito

Tabella A:

Nome	Età	Correzion						Correzion						Tipo di
		Occhio			Occhio Sx			Occhio			Occhio Sx			
		Sf	Cil	Ax										

Tabella A

4.1 Modalità di raccolta dati

Prima di iniziare il test, ci si è assicurati che il soggetto non abbia indossato le lenti a contatto per almeno due giorni in quanto possono causare un lieve cambiamento nella curvatura e forma della cornea il che può influire sui risultati.

Ciascun soggetto è stato sottoposto al test prima con gli occhiali e successivamente con le lenti a contatto. Le misurazioni sono state effettuate in visione binoculare e con l'utilizzo del Polar-test Rodenstock. La misura della SC è stata eseguita a tre metri dal polar-test, in situazione di illuminazione fotopica richiedendo la collaborazione del soggetto attraverso l'uso del demo in figura.

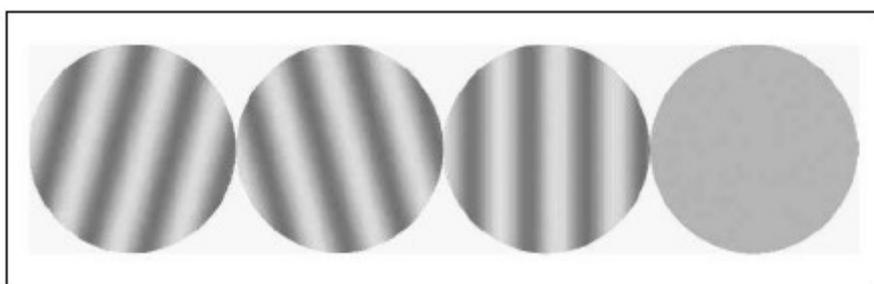


Figura 4.2: Demo Polar-Test

Il soggetto è stato quindi sottoposto alla visione del test con ogni tipologia di frequenza e orientamento.

Questo test di facile e veloce utilizzo consente di determinare la curva della sensibilità al contrasto del soggetto avvalendosi di stimoli grafici di forma circolare contenenti grating sinusoidali di diversa frequenza spaziale e di diverso livello di sensibilità del contrasto (6 livelli di frequenza spaziale; ognuno di questo è composto da 8 livelli di sensibilità al contrasto). Ciascuno stimolo può avere 3 inclinazioni scelte in maniera casuale durante l'esecuzione del test (orientamento verticale, inclinato a destra oppure inclinato a sinistra) per un totale di 144 stimoli.

Alla fine del test, si ottiene il grafico della curva di SC con i risultati del soggetto.

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

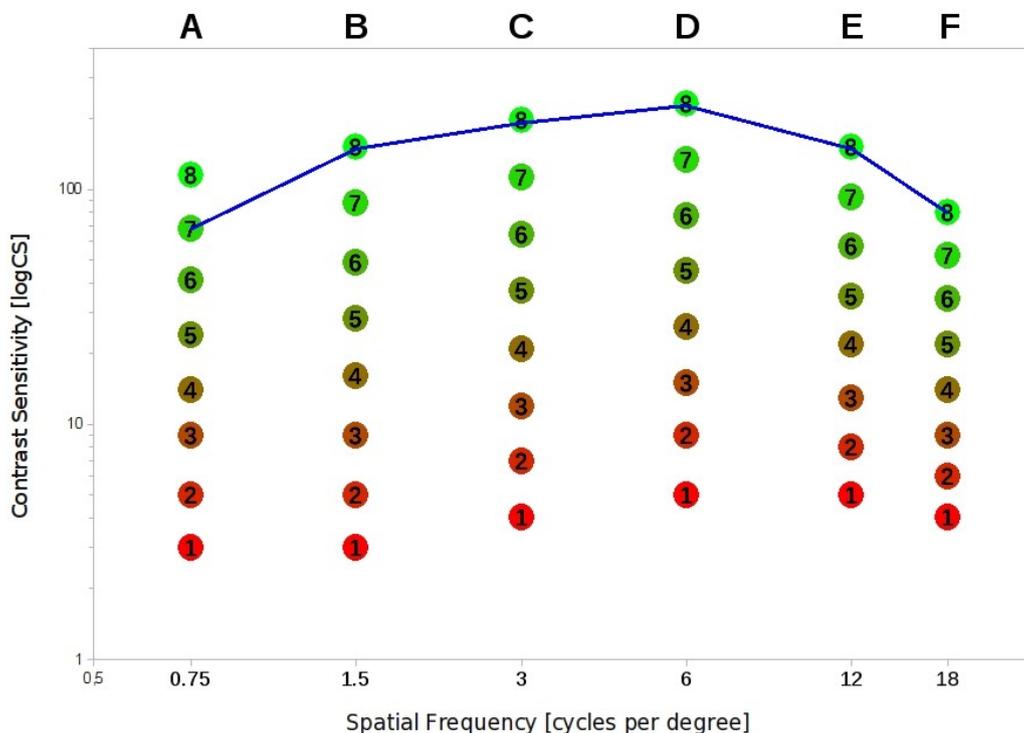


Figura 4.2: Grafico della CSF

Il grafico in figura si può descrivere nel seguente modo:

sull'asse delle ascisse, 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 ordinate sono presenti i valori della sensibilità al contrasto espressa in $\log 1/C$ dove C indica il 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.4.3):

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

Figura 4.3: Tabella dei reticoli con sensibilità al contrasto

Utilizzando questa tabella è stato possibile eseguire un confronto numerico tra i valori di sensibilità al contrasto al fine di chiarire eventuali differenze e peculiarità.

4.2 Analisi dei dati

Al fine di elaborare i dati ottenuti dalle curve di sensibilità al contrasto ricavate dallo strumento Polar, è stato ritenuto opportuno eseguire una media dei valori di riferimento (Fig. 4.3) per ogni soggetto in esame. Ciò ha permesso di rendere più immediato il confronto tra le varie modalità di correzione dei difetti visivi.

- Andamento sensibilità al contrasto

E' stato analizzato l'andamento della CSF notando una curva migliore per i portatori di lenti a contatto. Di fatto, la curva evidenziata con il colore arancio è indice dell'andamento della CSF per i portatori di lenti a contatto, mentre in blu quella per i portatori di correzione a tempiale.

Ciò è più marcato per valori di frequenza spaziale superiori a 6 C/G e va via via distaccandosi sempre più.

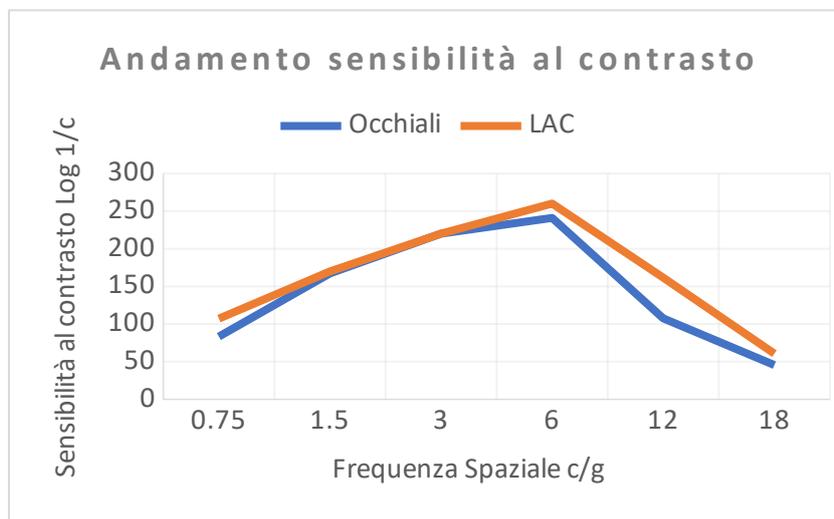


Grafico 1: Andamento CSF

- Discrepanza tra CSF

Al fine di sottolineare le discrepanze tra i due valori ottenuti nel grafico precedente, è stato ritenuto opportuno inserire un ulteriore grafico.

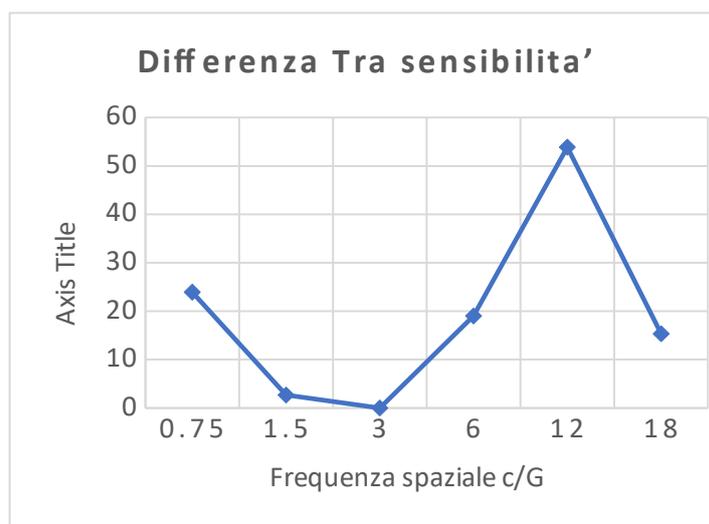


Grafico 2: Discrepanze tra CSF

Dal grafico in figura risulta più evidente che la differenza rilevata tra le due curve di sensibilità al contrasto interessa frequenze spaziali più elevate.

- Sensibilità al contrasto per tipologia di lente a contatto

Di seguito abbiamo riportato un grafico rappresentativo che mette in relazione le curve di CSF in funzione della tipologia di lente a contatto utilizzata, in particolare focalizzandoci sul ricambio di queste. Di fatto i soggetti in esame sono stati selezionati in quanto già portatori di questo metodo correttivo per far sì che fosse più marcata la loro percezione di sensibilità al contrasto durante l'esame.

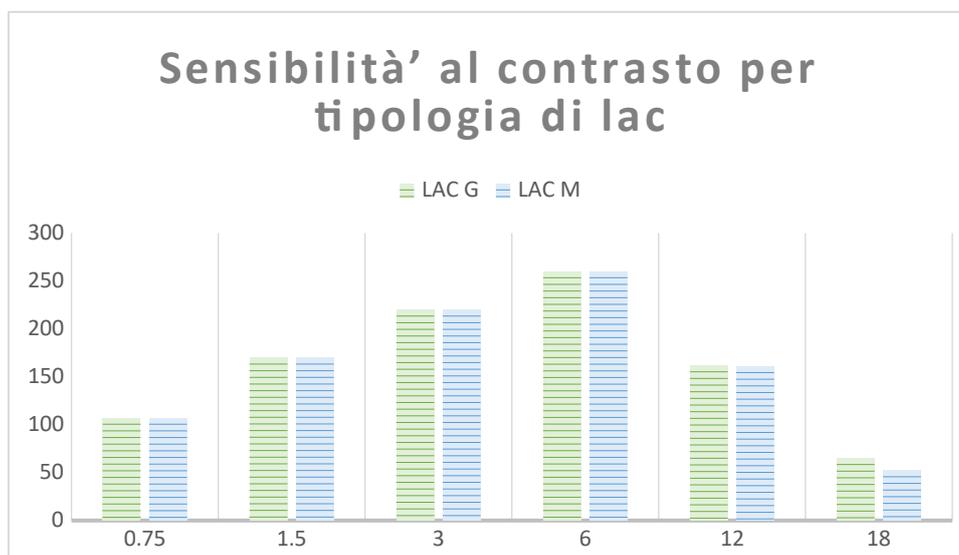


Grafico 3: CSF per tipologia di Lac

Come si evince dal grafico stesso, la differenza tra le curve di CSF tra portatori di lenti a contatto a ricambio frequente (Giornaliere) e portatori di reusable (Mensili) è trascurabile e rilevabile solamente per frequenze spaziali elevate.

- Curve di CSF Miopi

Un altro parametro che è stato preso in considerazione tra i soggetti in esame è la natura del difetto visivo. A tal proposito sono stati distinti i soggetti portatori miopi ed ipermetropi (tralasciando la componente astigmatica di questi) con il fine di evidenziare eventuali differenze tra le curve di sensibilità al contrasto per i portatori di soluzioni visive diverse.

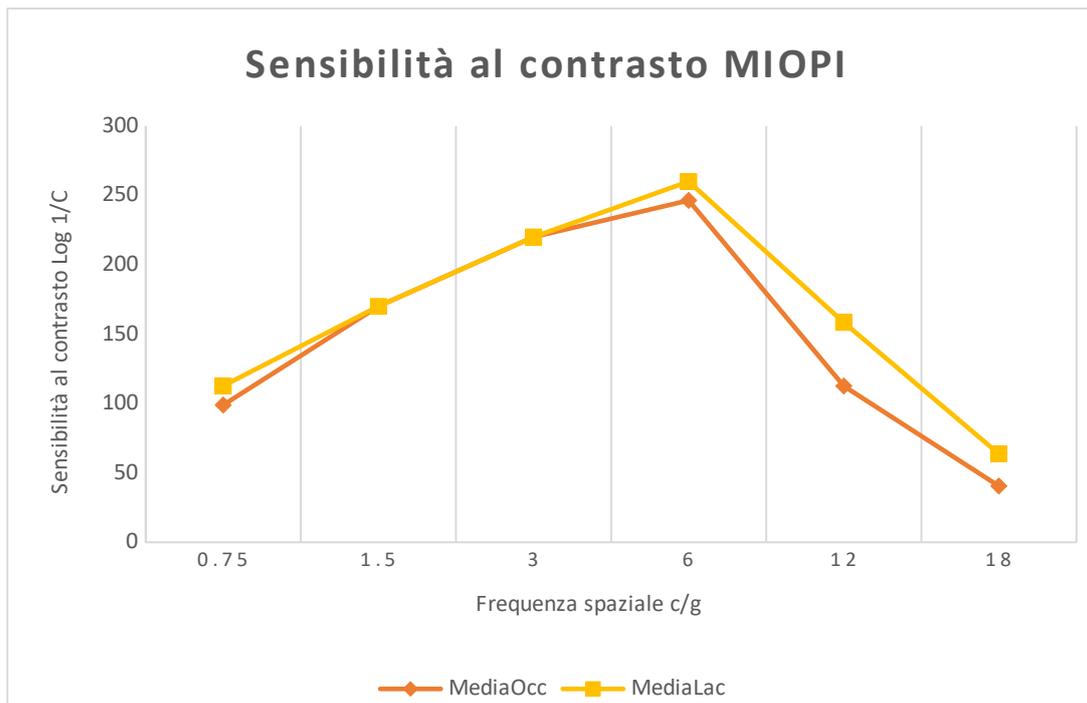


Grafico 4: CSF Miopi

Dal grafico risulta chiaro che non varia in maniera sensibile la curva CSF, tuttavia risulta sempre migliore nelle alte frequenze spaziali per i portatori di lenti a contatto.

- Curve CSF Ipermetropi

Con lo stesso metodo utilizzato per il precedente grafico, nella figura sottostante vengono messi a confronto i valori dei soggetti ipermetropi.

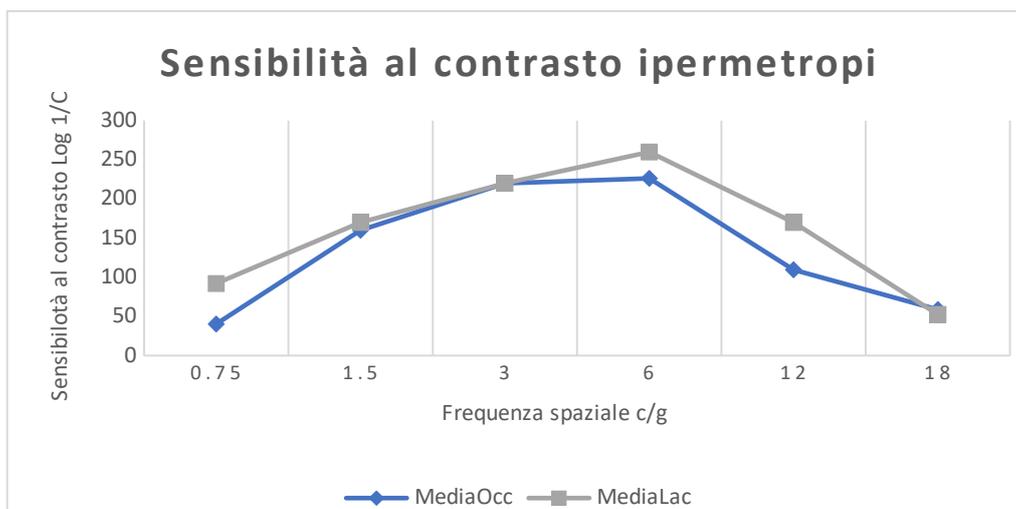


Grafico 5: CSF Ipermetropi

In questo grafico possiamo notare sempre una migliore sensibilità al contrasto per i portatori di lenti a contatto che si acuisce all'aumentare della frequenza spaziale.

- Discrepanza Miopi e Ipermetropi corretti con lenti a contatto

Il grafico sottostante mette in relazione i valori delle curve di sensibilità a contrasto solamente dei soggetti portatori di lenti a contatto, facendo differenza sulla natura del difetto visivo.

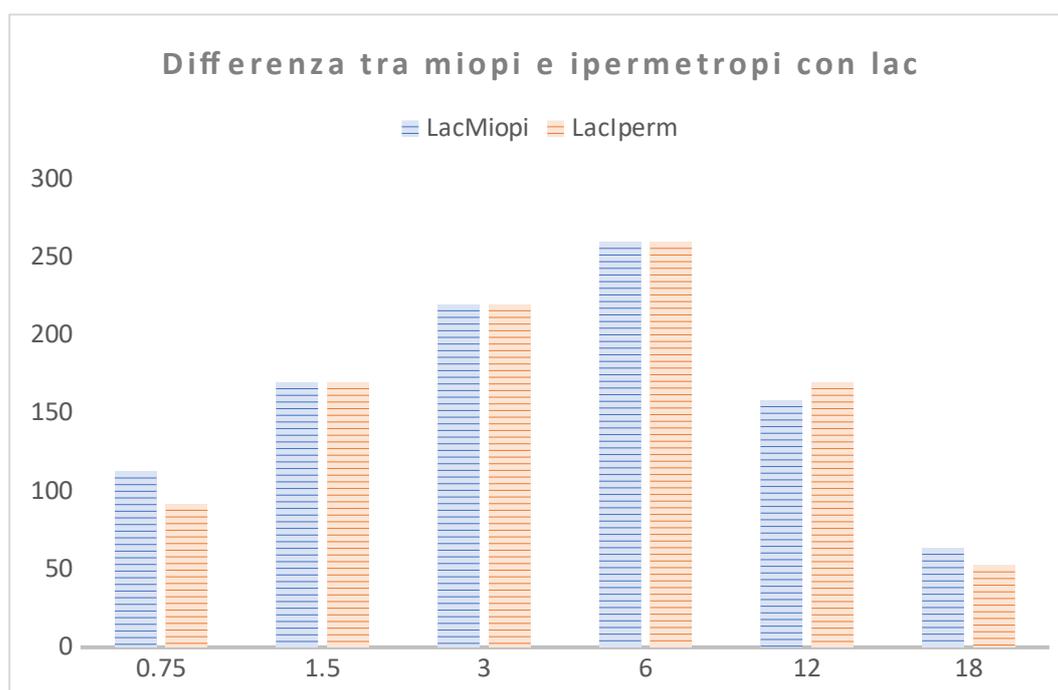


Grafico 6: Differenza Miopi e Ipermetropi con Lac

Come si evince dalla figura, non è apprezzabile differenza tra tutti i soggetti portatori di lenti a contatto, questo a prova che questo metodo correttivo garantisce una migliore curva di sensibilità al contrasto indipendentemente dal vizio refrattivo del soggetto.

Importante da precisare è che non sono state fatte considerazioni su soggetti astigmatici, in quanto è stato preferibile e più immediato considerare solamente difetti di rifrazione provenienti da Defocus e non da altro tipo di aberrazioni.

4.3 Conclusioni

Dai dati sperimentali ottenuti notiamo un miglioramento della sensibilità al contrasto nei soggetti che portano le lenti a contatto rispetto a quelli che portano occhiali per diverse ragioni:

1. **Minore distorsione periferica:** Le lenti a contatto si adattano direttamente sulla superficie dell'occhio, consentendo un campo visivo più ampio e una minore distorsione periferica rispetto agli occhiali, che possono avere lenti più spesse e curve.
2. **Minore assorbimento di luce:** Gli occhiali possono riflettere o assorbire una piccola quantità di luce, riducendo leggermente il contrasto delle immagini. Le lenti a contatto, invece, non interferiscono con la luce incidente e non presentano questo problema.
3. **Posizione stabile dell'occhio:** Le lenti a contatto si muovono con l'occhio e mantengono una posizione stabile sulla cornea, riducendo il rischio di variazioni nella percezione del contrasto dovute a movimenti delle lenti o degli occhiali.
4. **Minore aberrazione sferica:** Le lenti a contatto possono ridurre l'aberrazione sferica, un fenomeno ottico che può influenzare negativamente la percezione del contrasto e la nitidezza delle immagini.
5. **Migliore correzione visiva:** Le lenti a contatto possono fornire una correzione visiva più precisa rispetto agli occhiali, specialmente nelle persone con elevati difetti refrattivi o irregolarità della cornea.

Tuttavia, è importante sottolineare che la scelta tra lenti a contatto e occhiali dipende da una serie di fattori individuali quali:

- **Prescrizione visiva:** Il tipo e il grado di correzione visiva necessaria possono determinare se le lenti a contatto o gli occhiali sono più adatti. Ad esempio, alcune condizioni oculari o gradi elevati di miopia, ipermetropia o astigmatismo possono richiedere una correzione visiva specifica.
- **Forma e salute dell'occhio:** La forma e la salute della cornea possono influenzare la compatibilità delle lenti a contatto con l'occhio. Alcune persone possono avere

cornee irregolari o condizioni oculari che rendono più difficile o scomodo indossare lenti a contatto.

- **Stile di vita e attività:** Le preferenze personali e le attività quotidiane di una persona possono influenzare la scelta tra lenti a contatto e occhiali. Ad esempio, gli atleti o le persone coinvolte in attività fisiche intense possono preferire le lenti a contatto per evitare che gli occhiali scivolino o si rompano.
- **Sensibilità agli allergeni o occhi secchi:** Alcune persone possono essere più sensibili agli allergeni o soffrire di occhi secchi, il che potrebbe rendere più difficile l'uso delle lenti a contatto.
- **Fattori estetici:** Alcune persone possono preferire l'aspetto estetico delle lenti a contatto rispetto agli occhiali, o viceversa.
- **Comodità e manutenzione:** Le lenti a contatto richiedono una pulizia e manutenzione adeguata, mentre gli occhiali richiedono meno cure quotidiane. La comodità e la praticità di entrambe le opzioni possono influenzare la scelta.
- **Costo:** Il costo delle lenti a contatto e degli occhiali, compresi gli esami visivi e le sostituzioni, può variare e può influire sulla decisione.

Tuttavia non tutte le persone avranno necessariamente una migliore sensibilità al contrasto con le lenti a contatto. Chiunque stia prendendo in considerazione la correzione visiva dovrebbe consultarsi con un professionista dell'occhio per ottenere una valutazione accurata e una prescrizione adeguata.

Bibliografia

- Rossetti A.; Gheller P. "Manuale di optometria e contattologia", Zanichelli editore, 2003
- Bruce, Adrian S.; Catania, Louis J. "Clinical Applications of Wavefront Refraction". Optometry and Vision Science, 2014
- Silverthorn D. "Fisiologia umana: un approccio integrato", Pearson, 2010
- Lupelli L. "Optometria A-Z", Medical Books, 2014
- L. Yu; M. Xia; H. Xie; L. Xuan; J. Ma "Novel methods to improve the measurement accuracy and the dynamic range of Shack-Hartmann wavefront sensor" Journal Of Modern Optics, Vol.61, Num.9, 2014 H.G. Bredemeyer; K. Bullok; "Ortottica", Piccin, 1986
- F. Simoni; "Optica e tecnologia ottica", Calderini, 1991 F. Zeri; A. Rossetti; A. Fossetti; "Optica Visuale", Seu, 2012
- B.R. Masters; "Optical Devices in Ophthalmology and Optometry: Technology, Design Principles and Clinical Applications", Journal of Biomedical Optics, 2014
- L. Liuzzi; F. Bartoli; "Manuale di Oftalmologia", Minerva Medica, 2002
- A.Quartarolo; "Elementi di Ottica", Pellegrini, 2008
- D.H. Hubel; "Occhio, Cervello, Visione", Zanichelli,1989
- Anatomia & Fisiologia (Martini, Edises)
- G. P. Paliaga (1993) L'esame del Visus, edizioni Minerva Medica.
- Campbell FW, Robson J. Application of the Fourier analysis to the visibility of gratings.
- J. Physiol Contattologia. Una guida clinica, Lupelli Luigi; Fletcher Robert H.; Rossi Angela L. (2004)
- Abrahamsson, M. and Sjöstrand, J. (1986) Impairment of contrast sensitivity function (CSF) as a measure of disability glare. Investigative Ophthalmology & Visual Science.
- Arditi, A. (2005) Improving the design of the letter contrast sensitivity test. Investigative Ophthalmology & Visual Science.
- Occhio e cervello. La psicologia del vedere, Gregory Richard L.(1998).

Sitografia

- <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
- Sensibilità al contrasto: che cos'è e come viene esaminato? (allaboutvision.com)
- <https://www.yumpu.com/it/document/read/16452211/manuale-duso-completo-winfitrodenstock>
- <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://somooptometristas.com/alteraciones-en-la-capacidad-de-vision-de-contraste/>
- <http://www.stereooptical.com>
- <http://www.contrastsensitivity.ne>