

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Fisica e Astronomia

Dipartimento di Psicologia Generale

Corso di Laurea Triennale in Ottica e Optometria

Tesi di Laurea

*Confronto della curva di sensibilità al contrasto misurata con diversi
metodi computerizzati*

Relatore: Prof.ssa Casco Clara

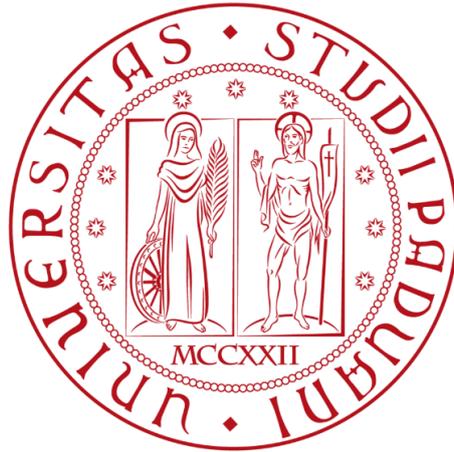
Correlatori: Prof.ssa Ortolan Dominga

Dott. Battaglini Luca

Laureanda: Rizzetto Ilaria

Matricola: 1074818

Anno Accademico 2015 – 2016



Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Fisica e Astronomia

Dipartimento di Psicologia Generale

Corso di Laurea Triennale in Ottica e Optometria

Tesi di Laurea

*Confronto della curva di sensibilità al contrasto misurata con diversi
metodi computerizzati*

Relatore: Prof.ssa Casco Clara

Correlatori: Prof.ssa Ortolan Dominga

Dott. Battaglini Luca

Laureanda: Rizzetto Ilaria

Matricola: 1074818

Anno Accademico 2015 – 2016

Indice

Abstract	Pagina 1
Introduzione	Pagina 3
Capitolo 1: La sensibilità al contrasto	Pagina 5
1.1 Definizione	
1.2 Basi neurali	
1.3 Come misurarla	
Capitolo 2: Gli studi	Pagina 15
2.1 Preparazione del laboratorio	
2.2 Selezione dei soggetti	
2.3 Strumenti utilizzati	
2.4 Metodi utilizzati	
Capitolo 3: I risultati	Pagina 25
Capitolo 4: Discussione e conclusioni	Pagina 35
Allegato 1: Consenso informato e questionario di anamnesi	Pagina 40
Bibliografia	Pagina 41

ABSTRACT

SCOPI

Gli scopi del lavoro sperimentale sono il confronto delle curve di sensibilità al contrasto ottenuta con cinque diversi sistemi computerizzati in condizione mesopica e il confronto delle curve ottenute dai soggetti miopi e quelle ottenute dai soggetti emmetropi. La principale caratteristica che differenzia questi strumenti è il differente numero di livelli di grigio che la scheda video riesce a presentare.

METODO

Lo studio è stato suddiviso in due parti. La prima parte comprende 20 soggetti di età compresa tra i 19 e i 25 anni, con una media di 21.44 ± 1.62 anni, mentre la seconda comprende 26 partecipanti tra i 7 e i 52 anni, con una media di 20.15 ± 10.62 anni. Inizialmente i soggetti sono stati sottoposti a un questionario e successivamente è stata proposta la batteria di test in condizione mesopica e binoculare con la correzione abituale. Alla fine di tali test si è chiesto ai soggetti quale test risultava di più facile comprensione.

RISULTATI

Si sono potute notare delle differenze nelle prestazioni tra i diversi strumenti ad alcune frequenze spaziali. Mentre dal confronto delle curve di sensibilità al contrasto dei due gruppi (emmetropi e miopi) non sono risultate differenze significative.

INTRODUZIONE

Lo scopo dello studio è quello di misurare la sensibilità al contrasto con cinque diversi strumenti, e confrontare i risultati ottenuti in condizione mesopica; ovvero la condizione in cui la visione è l'insieme dell'attività dei coni e dei bastoncelli, e il livello di illuminazione è intermedio tra la visione fotopica e scotopica. Oltre a tale obiettivo si è pensato di confrontare le curve di sensibilità al contrasto ottenute da soggetti emmetropi, con le curve ottenute dai soggetti miopi, in modo da verificare la presenza di eventuali differenze. Questo lavoro sperimentale è stato suddiviso in due parti. Nel primo studio si sono confrontati i risultati ottenuti in un gruppo di soggetti composto da 20 giovani con i tre strumenti più complessi dal punto di vista della programmazione informatica (Bit#, Video Switcher e Bit Stealing) e con un quarto strumento di più facile utilizzo (FrACT). Nel secondo studio, invece, a cui hanno partecipato 26 soggetti, si sono confrontati i risultati ottenuti da due strumenti di più facile utilizzo e talvolta usati anche in ambito optometrico (FrACT e visionapp). Si è deciso di confrontare i diversi strumenti in quanto ognuno riesce a presentare diversi livelli di grigio e ciò potrebbe influenzare la risposta sensoriale. Nella selezione per entrambi gli esperimenti sono stati inclusi coloro che hanno una buona acuità visiva (almeno 8/10) con la correzione in uso, mentre sono stati esclusi coloro che hanno subito interventi oculari, chi ha gravi ametropie o gravi ambliopie, chi ha il diabete, il glaucoma, la sclerosi multipla, il cheratocono e infine chi ha problemi di comprensione. Nel primo esperimento si sono testate cinque frequenze spaziali (0.25-1-3-9-15 cpd) in un compito in cui il soggetto doveva dire se lo stimolo (ovvero il reticolo sinusoidale) era presentato dopo il primo o il secondo suono a una distanza di 2 m dagli schermi e in

condizione binoculare. Mentre per quanto riguarda il secondo esperimento il soggetto doveva individuare l'orientamento delle C di Landolt nelle quattro frequenze spaziali proposte (1.5-3-6-12 cpd) a una distanza di 40 cm dagli schermi, e sempre in condizione binoculare.

CAPITOLO 1: LA SENSIBILITA' AL CONTRASTO

1.1 DEFINIZIONE

La sensibilità al contrasto è una capacità visiva importante in diverse situazioni quotidiane, come per esempio l'utilizzo di dispositivi elettronici, la guida, in particolare in presenza di nebbia o al crepuscolo e la lettura. Infatti descrive le proprietà spaziali della visione in modo più completo rispetto alla misura dell'acuità visiva, la quale valuta principalmente il potere di risoluzione dell'occhio. Il livello di sensibilità è un dato utile sia in campo optometrico, che neurologico; ma nonostante ciò spesso nella pratica clinica optometrica viene messo in secondo piano favorendo una più accurata analisi dell'acuità visiva ad alto contrasto. Questo accade probabilmente a causa della mancata standardizzazione dei risultati ottenuti con i diversi test o dalla lentezza di somministrazione.

Venendo alla definizione di sensibilità al contrasto, la si può definire come 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; inoltre si basa sulla teoria matematica di Fourier. A tal proposito è bene approfondire il significato di un paio di termini, il contrasto e la luminanza. Con il termine contrasto si definisce la differenza di luminanza tra zone adiacenti dello sfondo; e per fare ciò si ricorre all'utilizzo di due formule:

$$\text{Contrasto di Weber: } C = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{min}}$$

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

La prima formula si utilizza solitamente quando lo stimolo presentato è posto su uno sfondo uniforme ed è di piccole dimensioni (come per esempio una macchia o una linea luminosa). In questo caso i valori ottenuti possono essere molto elevati sia positivi che negativi. Mentre la seconda formula, viene utilizzata quando il campo visivo è occupato da una successione periodica di bande chiare e scure che formano i reticoli sinusoidali. Usando questa formula, i risultati ottenuti sono solo positivi e compresi tra 0 e 1.

Con il termine luminanza, invece, si fa riferimento al flusso luminoso riflesso per unità di superficie apparente e per unità di angolo solido, in direzione normale (ovvero parallela) rispetto alla direzione di emissione. Nel sistema internazionale (SI) si misura in cd/m^2 (candele al metro quadro) e tale unità è detta anche nit. Questo valore, insieme ad altri fattori (come per esempio alcune patologie oculari), contribuisce alla parziale modificazione della curva di sensibilità al contrasto.

1.2 STORIA E BASI NEURALI

La componente fondamentale per la visione è la retina, in quanto è in grado di trasformare gli stimoli luminosi in impulsi elettrici. Tale membrana si sviluppa dalle pareti del calice ottico, il quale è formato da due foglietti: quello interno (che costituisce la retina sensoriale) e quello esterno (che corrisponde all'epitelio pigmentato). La retina fa parte della tunica interna del bulbo oculare e in essa si possono riconoscere nove strati, uno dei quali è costituito da cellule gangliari, queste cellule sono le prime del sistema visivo in cui si generano potenziali d'azione. Con tale termine si fa riferimento a un evento di breve durata in cui si ha il cambiamento di carica tra l'interno e l'esterno

della membrana cellulare. Gli assoni delle cellule gangliari convergono verso la zona cieca della retina, dove si uniscono per formare il nervo ottico, a questo punto proseguono il loro percorso verso un centro di elaborazione che prende il nome di nucleo genicolato laterale (NGL) localizzato sul talamo dorsale. Successivamente le informazioni elaborate in quest'area vengono trasmesse alla corteccia visiva primaria. In particolare le fibre che provengono dalla retina laterale (e quindi dalla zona temporale) proseguono al genicolato dello stesso lato, mentre le fibre provenienti dalla retina mediale (ovvero dalla parte nasale) si incrociano e si dirigono al genicolato controlaterale. A livello retinico le cellule gangliari hanno dei campi recettivi concentrici e con antagonismo centro-periferia (centro on o off), che permettono una risposta selettiva al contrasto (figura 1). Con il termine campo recettivo si fa riferimento a una proiezione retinica dell'area del campo visivo, all'interno della quale uno stimolo suscita una risposta misurabile.

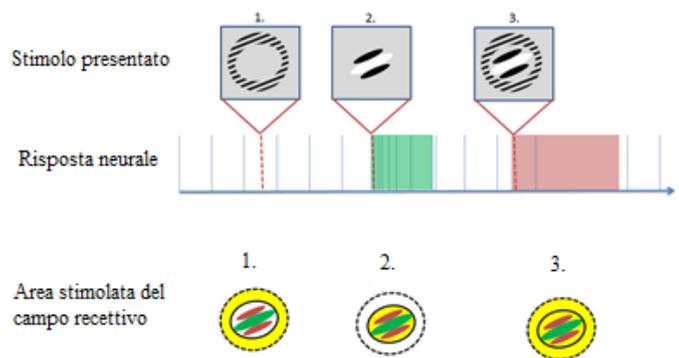


Figura 1. Risposta dei campi recettivi in base alla stimolazione. 1. stimolazione della periferia: nessun effetto; 2. stimolazione al centro: ampia risposta; 3. stimolazione di centro e periferia del campo recettivo: soppressione.

Anche a livello del nucleo genicolato laterale le cellule hanno campi recettivi concentrici, mentre a livello corticale le cellule hanno campi recettivi allungati. Inoltre a livello corticale si riconoscono diversi tipi di cellule, le principali sono quelle semplici e quelle complesse. Le prime hanno campi recettivi con zone inibitorie ed eccitatorie di forma allungata, e lo stimolo efficace è rappresentato da uno stimolo luminoso di forma allungata e con lo stesso asse del campo recettivo. Quindi hanno una risposta selettiva all'orientamento, ma non solo, grazie all'organizzazione del campo recettivo in centro-periferia, codificano anche le frequenze spaziali. Anche le cellule complesse rispondono a stimoli di forma allungata, ma nel campo recettivo di queste cellule manca l'antagonismo centro periferia e quindi la risposta non viene influenzata dalla posizione che lo stimolo occupa nel campo recettivo. Inoltre sono sensibili a stimoli in movimento lungo una traiettoria lineare precisa.

Oltre al diverso tipo di campi recettivi a livello retinico e corticale esistono differenti vie visive. A livello retinico ci sono le cellule gangliari M (magnocellulari) che formano la via dorsale e sono presenti nei due strati ventrali del 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. Poi ci sono le cellule P (parvocellulari) che vanno a formare la via parvo-ventrale e sono disposte negli strati dorsali del NGL, hanno campi recettivi piccoli, poca sensibilità al contrasto e sono utili per la percezione di forme, colori e dettagli fini.

Agli inizi degli anni '60 la curva di sensibilità al contrasto veniva spiegata ipotizzando che alla base del processo di riconoscimento degli

stimoli a vari contrasti ci fossero le cellule gangliari in grado di riprodurre la funzione grazie al loro profilo di sensibilità. Però le prime misurazioni della curva di sensibilità al contrasto vennero fatte da Schade nel 1956, e la curva era il risultato della misurazione di 5 frequenze spaziali, quelle che maggiormente interessano la parte visibile della curva ovvero da 1 a 16 c/g. Con il termine frequenze spaziali si fa riferimento al numero di variazioni periodiche della luminanza nell'unità di angolo visivo, e sono misurate in cicli per grado. 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 neuronali 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 di attributi (quali orientazione, frequenze spaziali) che è in grado di filtrare l'input visivo sulla base delle proprie proprietà di filtraggio. Ognuno dei canali per la frequenza spaziale ha una propria sensibilità 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. Proprio grazie a queste ricerche, la misurazione psicofisica della curva di sensibilità al contrasto è resa possibile.

1.3 COME MISURARLA

Ci sono diversi tipi di test che permettono la misurazione della sensibilità al contrasto, e possono essere suddivisi in due categorie: quelli cartacei e quelli computerizzati. Si parlò per la prima volta di test con mire a contrasto variabile nel 1881 (in Reeves e altri 1991), poi nel 1889 venne progettato il primo test e nel 1918 (Young G. Threshold test cit in Regan 1990) venne prodotto il primo test commerciale, anche se la sua diffusione fu molto posteriore. Si può quindi intuire che i primi metodi utilizzati erano cartacei, e in base alle caratteristiche delle mire e delle frequenze spaziali considerate possono essere suddivisi in tre categorie:

- mire a contrasto fisso e frequenze spaziali variabili (Regan charts, tSC)
- mire a contrasto variabile e frequenze spaziali fisse (Pelli-Robson)
- mire a contrasto e frequenze spaziali variabili (Vistech).

Ancora oggi, nonostante grazie alle continue innovazioni siano in uso anche diversi test computerizzati caratterizzati da griglie di visualizzazione su monitor video guidati da un microprocessore, i test cartacei restano la tipologia più usata in quanto sono di semplice interpretazione e di veloce somministrazione. Però i test computerizzati sono considerati il metodo clinico più affidabile anche se la loro ripetibilità e validità richiedono un'attenta valutazione dei diversi fattori (Reeves e altri 1991). 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 bande chiare e scure che rappresentano i massimi e i minimi di luminanza (figura 2).

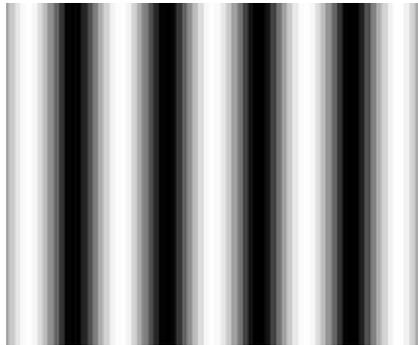


Figura 2. Esempio di reticolo sinusoidale

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:

- ampiezza, rappresenta la metà della misura tra un picco e un incavo della funzione sinusoidale, quindi indica la distanza tra un picco e l'asse delle ascisse
- 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 (cpd). 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. Infatti, le alte frequenze spaziali contribuiscono alla

visualizzazione dei dettagli dell'immagine, mentre le basse frequenze spaziali contribuiscono a dare informazioni sulle caratteristiche globali dell'oggetto (figura 3). Varie ricerche hanno dimostrato che le diverse frequenze spaziali non sono percepite allo stesso modo dal sistema visivo, in particolare sembra che quelle percepite meglio siano le frequenze spaziali intermedie

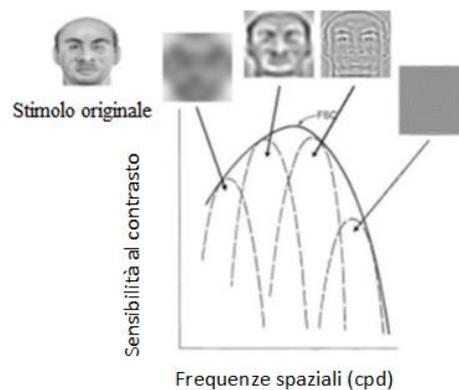


Figura 3. Le frequenze spaziali contribuiscono alla formazione dello stimolo osservato

- fase, è la traslazione della sinusoide rispetto all'origine
- luminanza media, rappresenta il valore medio intorno al quale la luminanza varia in modo sinusoidale.

Spesso i metodi utilizzati per la somministrazione dei test per la sensibilità al contrasto sono quelli psicofisici. Il più semplice è il metodo dei limiti 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; un metodo più efficace è però il metodo degli stimoli costanti in cui viene presentato in modo casuale

un numero limitato di stimoli sopra o sotto soglia. Con la parola stimolo si identifica un elemento in grado di produrre una determinata sensazione nell'osservatore. Il concetto di soglia può essere differenziato in tre diversi sottogruppi: la soglia assoluta indica il minimo valore di contrasto rilevabile il 50% delle volte da uno sfondo uniforme, in questo caso la risposta è "sì" o "no"; la soglia differenziale rappresenta la minima quantità di variazione dell'intensità di uno stimolo variabile necessaria affinché venga riconosciuto come diverso da uno stimolo di intensità costante (in altre parole, indica il cambiamento necessario per percepire una differenza di intensità tra due stimoli nel 50% delle prove). E infine si parla di soglia terminale, quando un incremento dello stimolo non crea nessuna variazione di sensazione. Inoltre per variare il livello di intensità degli stimoli e calcolare il valore della soglia si può ricorrere al metodo della scala o al metodo PEST. Il metodo della scala (staircase) consiste nel variare il livello di intensità dello stimolo in base alle risposte date dal soggetto esaminato, l'intensità viene diminuita ogni volta che il soggetto risponde correttamente e viene aumentata quando le risposte non sono corrette. Può essere utilizzato il metodo semplice della scala o elaborato, in quest'ultimo vengono definite un numero di risposte corrette e sbagliate dopo le quali si ha una riduzione o un aumento dell'intensità degli stimoli. Mentre il metodo PEST (Taylor & Creelman, 1967) è un particolare metodo della scala e si basa su un algoritmo che regola il livello di intensità dello stimolo, la grandezza del passo e determina il valore di soglia fermandosi quando il valore del passo raggiunge la dimensione predefinita. La procedura continua in questo modo fino a quando l'algoritmo stabilisce che l'obiettivo è raggiunto. Questa procedura adattiva permette di raggiungere velocemente i valori di soglia.

La curva di sensibilità al contrasto risultante da queste misurazioni è rappresentata all'interno di un piano cartesiano ed ha la forma di U rovesciata, dove i valori delle frequenze spaziali (espresse in cicli per grado) sono collocati nelle ascisse, mentre i valori di sensibilità al contrasto sono disposti nelle ordinate. Si può notare inoltre la presenza di un picco alle frequenze spaziali intermedie (ovvero intorno ai 3 cpd) e una riduzione graduale alle basse frequenze spaziali e più in particolare alle alte frequenze spaziali. La caduta alle alte frequenze spaziali si può spiegare con la limitata capacità che ha il sistema visivo di percepire i dettagli; mentre la caduta alle basse frequenze spaziali può essere spiegata con l'assenza di neuroni che codificano frequenze troppo basse, quindi si parla di un limite di risoluzione da parte del sistema visivo. Tornando alla conformazione della curva della sensibilità al contrasto, va precisato che l'uomo può vedere solo ciò che è all'interno dell'area creata da essa, mentre tutto quello che è al di fuori è invisibile all'occhio umano, a meno che non si faccia ricorso a qualche artificio, come per esempio il cannocchiale o il telescopio (figura 4).

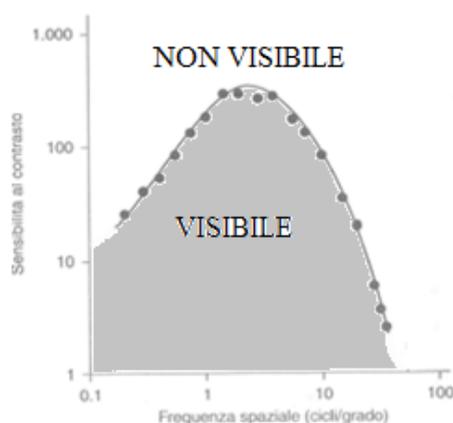


Figura 4. Curva della sensibilità al contrasto, con la suddivisione della porzione visibile e non visibile che si viene a creare disegnando la curva

CAPITOLO 2: GLI STUDI

2.1 PREPARAZIONE DEL LABORATORIO

Esperimento 1.

Inizialmente si è calibrato un monitor Asus con lo “spyder”, in modo da visualizzare i corretti colori dello schermo e inseguito grazie al fotometro si sono misurati i livelli di luminanza di ogni strumento. Ci sono diversi tipi di fotometri, quelli diretti (in cui il giudizio sulle luci è dato direttamente dall’occhio umano) e quelli indiretti (dove l’occhio umano è sostituito da un dispositivo sensibile alla luce). In questo caso è stato utilizzato un fotometro di tipo indiretto, esponendolo alla sorgente da valutare; così facendo le intensità dei monitor sono date dalla misura dell’intensità della corrente elettrica fornita dal trasduttore.

I monitor utilizzati sono due. Il primo è un Philips la cui grandezza dello schermo è 40.5 cm x 30.5 cm e la risoluzione è di 1600 x 1200 pixels, mentre il secondo è un Asus, le cui dimensioni sono 47.5 cm x 27 cm e la risoluzione è 1920 x 1080 pixels.

Per quanto riguarda la media dei valori di luminanza si sono trovati i seguenti risultati: (78.33 ± 0.58) cd/m² che identifica la luminanza massima ovvero le zone di bianco, (38.27 ± 0.25) cd/m² rappresenta la luminanza media e quindi il grigio, e infine (0.15 ± 0.06) cd/m² che corrisponde alla luminanza minima e cioè alle zone nere.

Poi si è proceduto a individuare le distanze di lavoro dai monitor: 2 m per tutti e quattro gli strumenti. Prima di cominciare a proporre le batterie di test ai soggetti, sono stati testati tutti gli strumenti con dei piloti, in modo da valutare eventuali errori nella programmazione dei

sistemi utilizzati, decidere le frequenze spaziali da testare e il numero di trials da proporre per ognuna di esse, così da riuscire a rappresentare nel miglior modo possibile la curva di sensibilità al contrasto tramite l'interpolazione dei valori trovati. Con il termine trials si fa riferimento al numero di presentazioni degli stimoli proposte per ogni frequenza spaziale. Le frequenze spaziali testate in questo primo esperimento sono 0.25-1-3-9-15 cpd.

Esperimento 2.

Anche in questo caso i monitor utilizzati sono due: un tablet il cui schermo è 21.5 cm x 13.5 cm e la cui risoluzione è 1920 x 1020 pixels, e un monitor Samsung di 29.5 cm x 16.5 cm con una risoluzione di 1920 x 1080 pixels.

Le differenze rispetto al precedente esperimento sono le seguenti: la distanza di lavoro, che in questo caso è 40 cm, e la scelta delle frequenze spaziali, infatti in questo esperimento, le frequenze spaziali non sono state scelte dagli sperimentatori, in quanto nel visionapp erano predefinite (1.5-3-6-12 cpd). Si è però proceduto a sistemare le impostazioni in modo da utilizzare le stesse frequenze spaziali del visionapp.

2.2 SELEZIONE DEI SOGGETTI

Esperimento 1.

I test sono stati proposti nella seconda metà di Ottobre 2016 nel laboratorio E08 presso la sede di Psicologia a Padova a 20 soggetti di età compresa tra i 19 e i 25 anni, con una media di 21.44 ± 1.62 anni. Prima di cominciare è stato dato a tutti il consenso informato per il

trattamento dei dati personali e un questionario di anamnesi (Allegato 1), in modo da poter valutare se ogni singola persona rientrava nei criteri di inclusione (acuità visiva maggiore o uguale a 8/10 con correzione abituale) o esclusione (chi ha subito interventi oculari, chi ha il diabete, il glaucoma, la sclerosi multipla, il cheratocono, o altre patologie che contribuiscono a variare la curva di sensibilità al contrasto, chi è ambliope o ha elevate ametropie e infine chi ha problemi di comprensione o difficoltà a mantenere l'attenzione nello svolgere incarichi per tempi prolungati) stabiliti all'inizio dello studio. Il questionario è utile nel caso in cui alcuni soggetti presentano dati anomali, quindi si potrebbe rintracciare tra le risposte la difficoltà nella guida con nebbia, o la difficoltà nel mantenere l'attenzione per compiti prolungati (visto che per l'interna sessione di test si impiega poco più di un'ora). I test sono stati eseguiti binocularmente con la correzione abituale, in modo da valutare la miglior sensibilità possibile agli stimoli presentati. Dopo aver sottoposto ogni soggetto ai test è stato chiesto loro di esprimere un parere sui test proposti, per verificare la facilità di comprensione di ognuno di essi e il grado di difficoltà provato nello svolgere i compiti richiesti.

Esperimento 2.

I test sono stati proposti nello stesso periodo del precedente esperimento, solo che a causa della lunga durata di entrambi gli esperimenti, in questo caso i test sono stati proposti sia ad alcuni soggetti del precedente studio (coloro che avevano più tempo da dedicare a questa ricerca), sia ad altre persone. In tutto si è raggiunto il numero di 26 partecipanti di età compresa tra i 7 e i 52 anni, con una media di 20.15 ± 10.62 anni. Anche in questo caso è stato fatto

compilare lo stesso questionario per gli stessi scopi precedentemente descritti, ovvero la valutazione dei criteri di inclusione ed esclusione. Come per l'esperimento 1, al termine della valutazione è stato chiesto ai soggetti di esprimere un parere sui test proposti, in modo da verificarne la facilità di comprensione e il grado di difficoltà provato nello svolgere i compiti richiesti.

2.3 STRUMENTI UTILIZZATI

Nello studio sono stati utilizzati cinque strumenti con diversi livelli di grigio, al fine di confrontare le varie curve di sensibilità al contrasto ottenute in condizione mesopica, ovvero quando la visione è dovuta all'attività contemporanea di coni e bastoncelli e la condizione di luminosità è intermedia tra i valori di visione scotopica (in semioscurità e quindi grazie all'attività dei bastoncelli) e fotopica (in piena luce e grazie all'attività dei soli coni).

Esperimento 1.

I primi tre strumenti utilizzati sono più costosi e più laboriosi da utilizzare nella normale pratica clinica quotidiana, in quanto utilizzano il programma MatLab per la presentazione degli stimoli, lo sviluppo di algoritmi, per il calcolo numerico, per l'analisi e la visualizzazione dei dati sperimentali.

Il primo strumento utilizzato è la Bit# ed è il più costoso dei quattro. Tale dispositivo permette di presentare in modo molto preciso 2^{14} livelli di grigio. La Bit# è il successore del Bits++, e il nuovo design fornisce lo stimolo essenziale di calibrazione e di sincronizzazione per l'analisi visiva. È caratterizzato da 14 bit, da una risoluzione molto alta e ha il display a colori sul monitor CRT.

Il secondo è un software che tramite un algoritmo chiamato Bit Stealing, riesce a presentare 10.7 bits di luminanza utilizzando uno schermo in 8 bit. Questo avviene grazie all'aggiunta di piccoli valori ai diversi canali dei colori e questa aggiunta, combinata con le diverse emissioni caratteristiche di rosso, verde e blu, e con la diversa sensibilità dell'occhio umano ad ogni canale, porta alla presentazione di più livelli di contrasto di grigio rispetto ad uno schermo a 8 bit (2^8 livelli di grigio). Per fare in modo che questo algoritmo Bit Stealing funzioni al meglio è necessario avere un monitor a colori ben calibrato e con un gamma linearizzato. Per tale motivo all'inizio dell'esperimento il monitor in cui è stato usato questo dispositivo è stato calibrato con lo "spyder". Il gamma rappresenta una trasformazione di tipo non lineare che viene usata per codificare e decodificare la luminanza o i valori del tristimolo (cioè la somma dei 3 colori primari in un modello di colore con 3 componenti additive) in un sistema video.

Il terzo è il Video Switcher (figura 5), ed è un dispositivo in grado di generare stimoli a basso contrasto in esperimenti visivi. Grazie a questo strumento si riceve il segnale analogico dalla scheda video del computer e lo si visualizza in scala di grigi. Il dispositivo attenua il segnale rosso e si combina con quello blu per generare un unico segnale. Tutti e tre i canali (rosso, blu e verde) del monitor sono comandati dal segnale combinato, in modo che la colorazione del display sia in scala di grigi. In questa modalità, il blu originale diventa bianco, parte del rosso non sarà più presente e infine si ha la scomparsa del verde e ciò contribuisce a far diventare nero lo schermo. Un'ultima caratteristica di tale strumento è la presenza di un interruttore che facilita il passaggio dalla

modalità colore (cioè quella originale dello strumento) alla modalità scala di grigi.



Figura 5. Videoswitcher

Infine l'ultimo strumento utilizzato è più accessibile a tutti sia dal punto di vista pratico che economico e si tratta del FrACT (figura 6), che è un'applicazione progettata negli anni '80 e successivamente modificata, al fine di migliorarne il funzionamento e adattarsi alle innovazioni in campo informatico e optometrico (Michael Bach 1985). Si tratta di un'applicazione gratuita scaricabile sul computer che permette la valutazione di diverse capacità visive, tra cui la sensibilità al contrasto. Prima di cominciare qualsiasi test è necessario calibrare l'applicazione in base alla grandezza dello schermo e della distanza cui si trova l'osservatore.

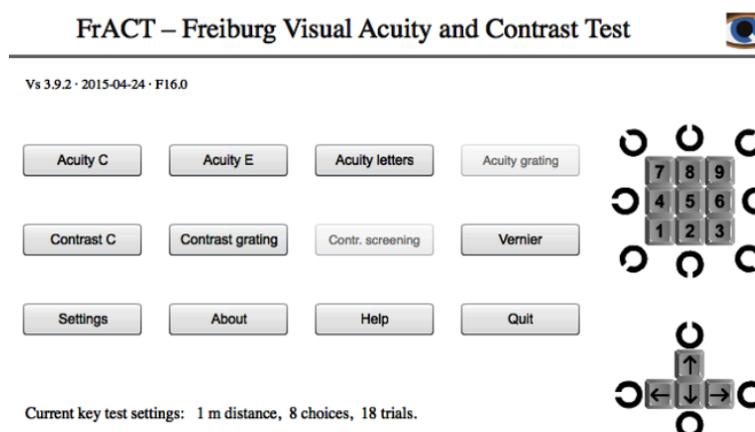


Figura 6. Schermata principale del FrACT

Esperimento 2.

I due strumenti utilizzati in questo caso sono di facile utilizzo e più veloci da utilizzare nella pratica clinica, e sono il visionapp e il FrACT (usato anche per il precedente esperimento).

Il visionapp si basa sul metodo di Criscito e Paliaga dei test cartacei, nei quali sono presenti 13 righe di E di Snellen a orientamento randomizzato e con contrasto decrescente per ogni riga secondo una progressione logaritmica. Però nella progettazione del visionapp vengono prese in considerazione soltanto 11 righe.

2.4 METODI UTILIZZATI

Esperimento 1.

Con i tre strumenti complessi gli stimoli utilizzati sono reticoli sinusoidali con orientamento verticale (figura 7), che come detto nel primo capitolo sono rappresentati da una successione di barre chiare e scure di spessore variabile in base alla frequenza spaziale testata.

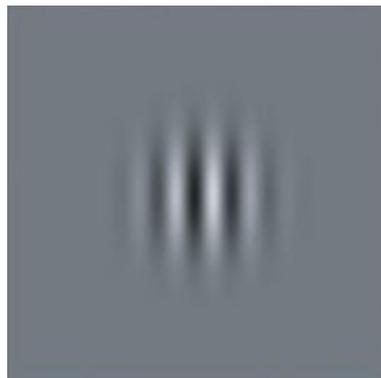


Figura 7. Esempio di stimolo utilizzato per l'esperimento 1

In questo caso il metodo di risposta usato è quello della scelta forzata tra due alternative (2 AFC), e i reticoli vengono presentati in seguito a uno dei due stimoli sonori percepiti. Il soggetto deve individuare in quale delle due situazioni viene presentato lo stimolo, digitando sulla tastiera il tasto Z se lo stimolo è presente dopo il primo suono, oppure M se lo stimolo appare dopo il secondo suono. Con questo metodo il soggetto deve per forza rispondere con uno dei due tasti, anche nel caso in cui non riesce a percepire in quale situazione sia presentato lo stimolo. Inoltre il metodo che permette la variazione dell'intensità degli stimoli è un particolare metodo della scala chiamato BEST PEST (Pentland 1980), grazie a questa tecnica gli stimoli sono presentati in modo ascendente o discendente a seconda delle risposte date dalla persona esaminata, nel dettaglio quando viene data la risposta corretta l'intensità è ridotta, al contrario, quando si sbaglia la risposta, l'intensità viene aumentata. Così facendo le intensità presentate convergono rapidamente intorno ai valori di soglia, in modo che siano presentati ripetutamente solo gli stimoli con le intensità attorno al valore medio, visto che sono quelli più informativi. In questo modo si evita quindi di presentare molte volte stimoli di troppo facile o difficile individuazione da parte del soggetto.

Con il FrACT, invece si utilizzano i reticoli sinusoidali con diverse orientazioni, perciò in questo caso è stato usato un diverso metodo della scelta forzata, in quanto l'osservatore deve riconoscere l'orientamento del reticolo (verticale, orizzontale, inclinato a destra, inclinato a sinistra). Lo stimolo è sempre presentato al centro dello schermo e l'osservatore deve digitare sulla tastiera la freccia corrispondente alla direzione corretta dello stimolo. Anche in questo caso l'intensità degli

stimoli varia seguendo il metodo BEST PEST, che come descritto in precedenza consiste in un particolare metodo della scala.

Esperimento 2.

Il metodo di indagine del visionapp è diverso dalle procedure elencate in precedenza, infatti in questo caso si usano le C di Landolt con quattro diversi orientamenti e il metodo di risposta si basa sul riconoscimento dell'orientamento degli stimoli. Infatti al centro dello schermo viene rappresentata la C con un particolare orientamento, e nei quattro lati dello schermo sono raffigurate quattro C con diversi orientamenti (figura 8).

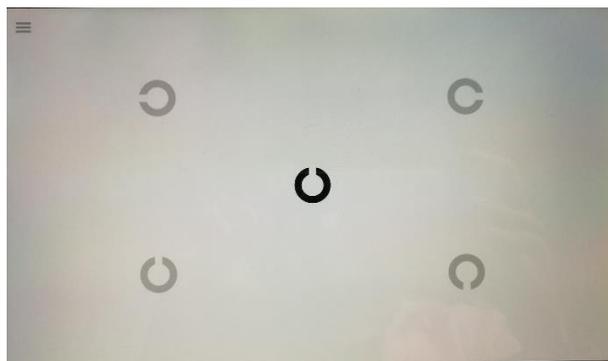


Figura 8. Metodo di presentazione degli stimoli nel visionapp

Il compito del soggetto è quello di selezionare la C (in uno dei quattro lati) con la stessa direzione dello stimolo centrale. In questo caso l'intensità degli stimoli si riduce a ogni risposta corretta, mentre quando si dà una risposta errata il sistema procede con la presentazione di tre stimoli di uguale intensità. Se ne vengono individuati correttamente almeno due l'intensità diminuisce nuovamente, al contrario se vengono riconosciuti meno di due stimoli l'intensità aumenta. Questo accade per ogni frequenza spaziale testata, sempre partendo da un'intensità elevata

per seguire poi l'iter appena descritto. Mentre nei reticoli sinusoidali varia lo spessore delle barre in base alla frequenza spaziale testata, in questo caso ciò che si modifica è la grandezza delle C. Quindi all'aumentare delle frequenze spaziali diminuiscono le dimensioni delle C.

Anche con il FrACT vengono presentate le C di Landolt con quattro orientamenti, ma in questo caso il soggetto deve premere sulla tastiera del computer la freccia corrispondente all'apertura della C. Inoltre la modalità secondo la quale varia l'intensità degli stimoli è la medesima utilizzata per il FrACT presentato a 2 m, ovvero il metodo PEST.

Con entrambi gli strumenti il contrasto è misurato usando la formula di Weber, mentre nel primo esperimento il contrasto veniva valutato prendendo in considerazione la formula di Michelson.

CAPITOLO 3: RISULTATI

Esperimento 1.

In questo studio il campione di soggetti è composto da 20 giovani studenti universitari di età compresa tra i 19 e i 25 anni, con una media di 21.44 ± 1.62 anni. Per quanto riguarda invece la distribuzione del sesso (grafico 1), si può notare la presenza di 13 ragazze (75%) e 5 ragazzi (25%). Tra questi 10 sono emmetropi (50%), 1 è ipermetrope (5%) e i rimanenti 9 sono miopi (45%) (grafico 2).

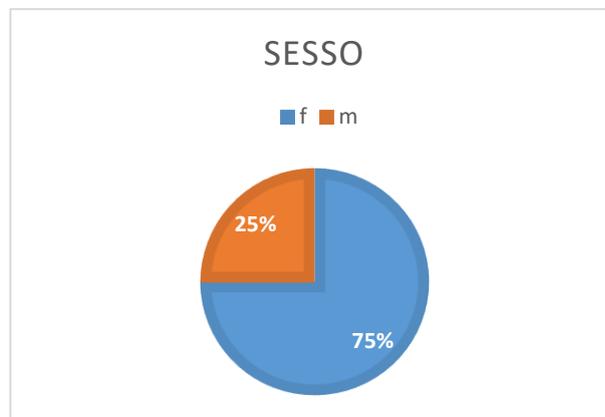


Grafico 1. Distribuzione del sesso

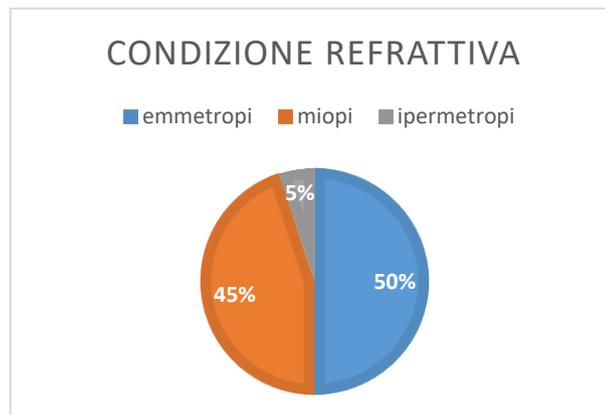


Grafico 2. Condizione refrattiva dei soggetti analizzati

Successivamente si è passati alla valutazione della curva di sensibilità al contrasto per ogni soggetto analizzato, in modo da esaminare le prestazioni di ciascuno di essi. Dopodiché si è fatta la media dei valori trovati per ogni frequenza spaziale, per creare un grafico per ogni strumento utilizzato. Solo dopo la valutazione di ogni singola curva di sensibilità al contrasto si sono confrontati tutti i valori trovati, creando così un grafico contenente tutte le curve ottenute (grafico 3).

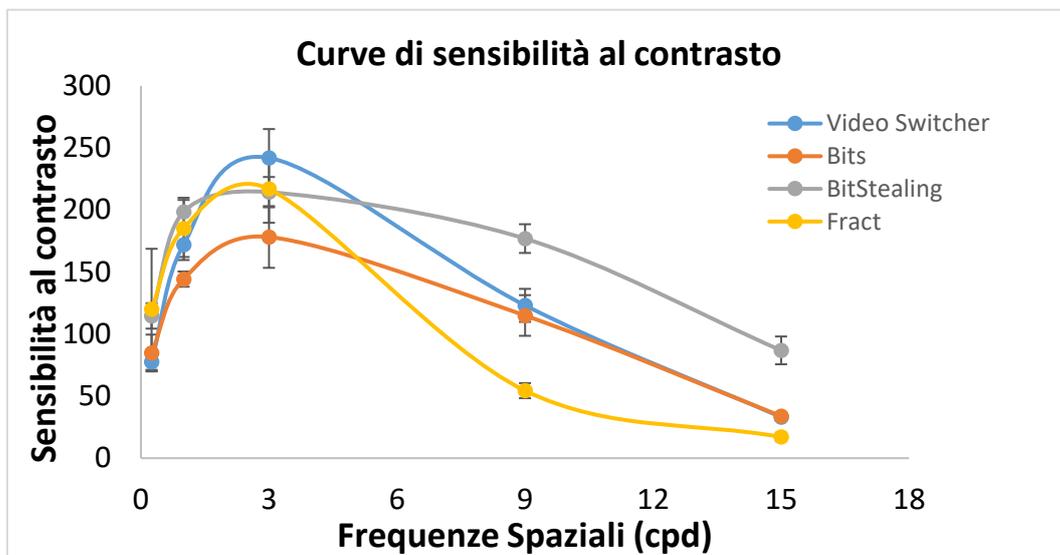


Grafico 3. Confronto delle quattro curve di sensibilità al contrasto ottenute con i diversi strumenti utilizzati

Inseguito è stata condotta un'analisi della varianza (ANOVA) a misure ripetute per mostrare le differenze significative fra i risultati di sensibilità al contrasto ottenuti con i differenti strumenti di misurazione e frequenze spaziali.

I fattori sono gli strumenti utilizzati (Bit#, Video Switcher, FrACT e Bit Stealing) e le frequenze spaziali (0.25-1-3-9-15 cpd). Il fattore principale strumento non risulta significativo ($F_{(1.52,28.92)} = 2.79$, $p = 0.09$, $\eta^2_p = 0.13$) mentre lo è il fattore frequenze spaziali ($F_{(4,76)} = 49.76$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.72$). I post-hoc t-test corretti con Bonferroni mostrano

che i risultati ottenuti con la frequenza spaziale 0.25 cpd sono peggiori di quelli ottenuti a 3 cpd ($p < 0.001$), ma migliori di quelli ottenuti a 15 cpd ($p = 0.009$). Inoltre valori ottenuti misurando i 3 cpd sono migliori di quelli ottenuti a 1 ($p = 0.019$) 9 ($p < 0.001$) e 15 cpd ($p < 0.001$). Infine si può notare che la sensibilità al contrasto ottenuta a 15 cpd è sempre peggiore rispetto a tutte le altre ($p < 0.009$). Le analisi mostrano anche che l'interazione strumenti x frequenze spaziali è significativa ($F_{(5.074,96.40)} = 3.59$, $p = 0.005$, $\eta^2_p = 0.16$). Ancora una volta sono stati calcolati i post-hoc t-test corretti con Bonferroni e mostrano che quando lo stimolo viene presentato a 0.25 cpd la prestazione ottenuta utilizzando il Bit Stealing è migliore di quella ottenuta con il Video Switcher ($p = 0.005$), e che a 9 cpd la prestazione ottenuta utilizzando il Bit Stealing è migliore di quella ottenuta con il Video Switcher ($p = 0.022$), con il FrACT ($p = 0.001$) e marginalmente significativo con la Bit# ($p = 0.053$). Inoltre sempre a 9 cpd la prestazione ottenuta con il Video Switcher è migliore di quella ottenuta con il FrACT ($p = 0.001$). Infine, a 15 cpd i risultati ottenuti utilizzando il Bit Stealing sono migliori di quelli ottenuti con il Video Swicther ($p < 0.001$), con la Bit# ($p < 0.001$) e con il FrACT ($p = 0.001$), mentre la prestazione ottenuta con il FrACT è peggiore di quella ottenuta con il Video Swicther ($p = 0.002$) e con la Bit# ($p = 0.011$).

Dopodiché si è proceduto a fare un'analisi della varianza (ANOVA) mista per verificare eventuali differenze tra i risultati ottenuti dai soggetti emmetropi e quelli ottenuti dai soggetti miopi (grafici 4 e 5).

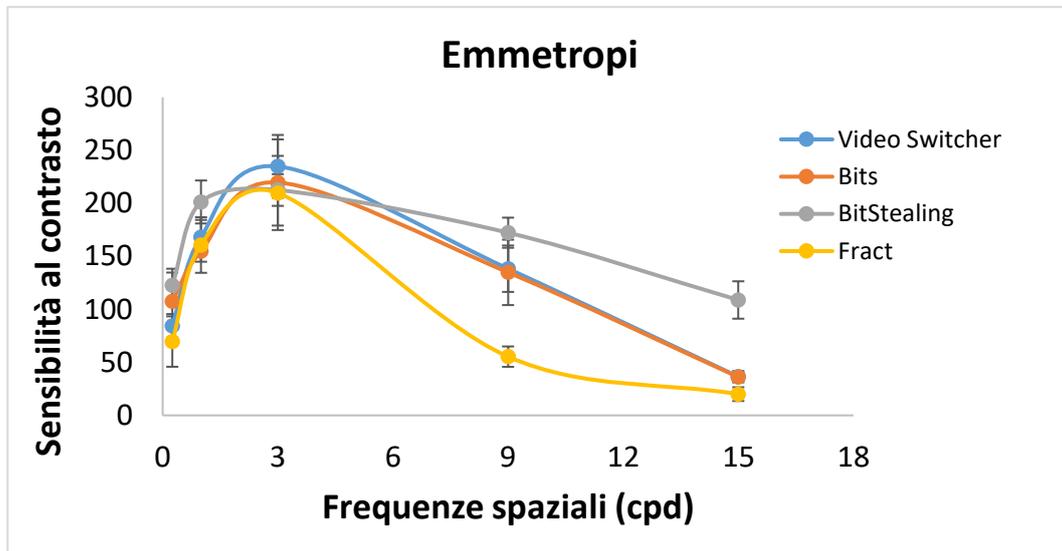


Grafico 4. Confronto delle curve di sensibilità al contrasto ottenute da soggetti emmetropi

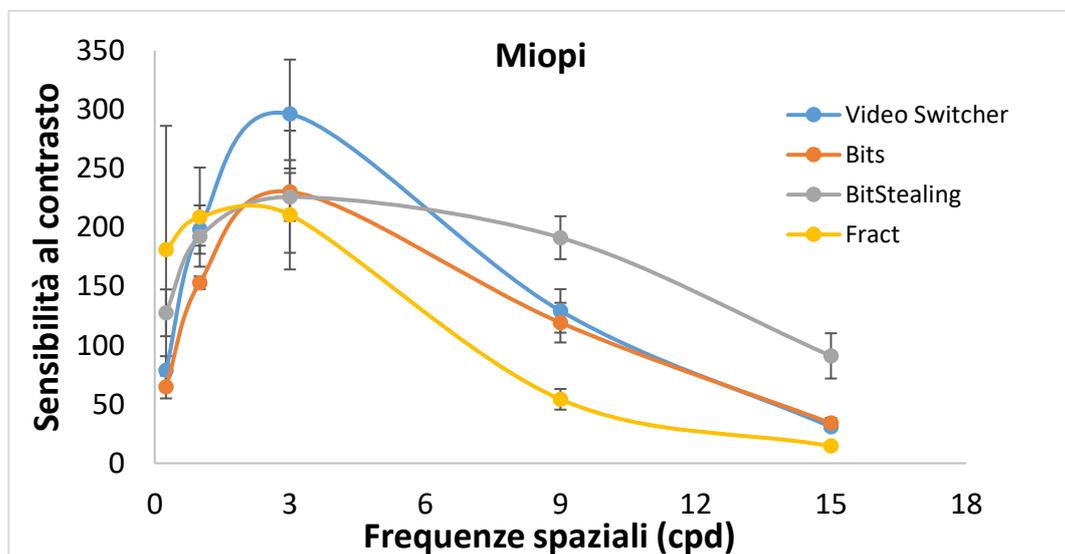


Grafico 5. Confronto delle curve di sensibilità al contrasto ottenute da soggetti miopi

Quindi in questo caso i fattori entro i soggetti sono gli strumenti utilizzati (Bit#, Video Switcher, FrACT e Bit Stealing) e le frequenze spaziali (0.25-1-3-9-15 cpd), mentre il gruppo (emmetropi e miopi) è un fattore tra i soggetti. Il fattore gruppo non risulta significativo ($F_{(1,17)} = 1.026$, $p = 0.325$, $\eta^2_p = 0.057$). Inoltre non risulta significativo neppure il fattore strumento ($F_{(1.496,25.425)} = 2.58$, $p = 0.1$, $\eta^2_p = 0.13$). Il fattore frequenza spaziale invece risulta significativo ($F_{(2.91,49.62)} = 43.29$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.72$). In questo caso, i post-hoc t-test corretti con Bonferroni mostrano che i risultati ottenuti con la frequenza spaziale 0.25 cpd sono peggiori di quelli ottenuti a 1 ($p = 0.005$) e 3 cpd ($p < 0.001$), ma migliori di quelli ottenuti a 15 cpd ($p = 0.019$). Inoltre la sensibilità al contrasto ottenuta misurando i 3 cpd è migliore di quella ottenuta a 1 ($p = 0.053$), 9 ($p < 0.001$) e 15 cpd ($p < 0.001$). Infine si può notare che i risultati ottenuti a 15 cpd sono sempre peggiori rispetto a tutti gli altri ($p < 0.001$).

Le analisi mostrano inoltre che l'interazione frequenze spaziali x gruppo e quella gruppo x strumento utilizzato non risultano significative. Mentre risulta significativa l'interazione strumento x frequenza spaziale ($F_{(4.86,82.71)} = 3.15$, $p = 0.013$, $\eta^2_p = 0.15$). Ancora una volta sono stati calcolati i post-hoc t-test corretti con Bonferroni e mostrano che quando lo stimolo viene presentato a 0.25 cpd la prestazione ottenuta utilizzando il Bit Stealing è migliore di quella ottenuta con il Video Switcher ($p = 0.011$), e che a 9 cpd la prestazione ottenuta utilizzando il Bit Stealing è migliore di quella ottenuta con il Video Switcher ($p = 0.047$), con il FrACT ($p < 0.001$) e marginalmente significativo con la Bit# ($p = 0.092$). Inoltre sempre a 9 cpd la prestazione ottenuta con il Video Switcher è migliore di quella ottenuta con il FrACT ($p = 0.001$). Infine, a 15 cpd la prestazione ottenuta

utilizzando il Bit Stealing è migliore di quella ottenuta con il Video Swichther ($p < 0.001$), con la Bit# ($p < 0.001$) e con il FrACT ($p = 0.001$), mentre la prestazione ottenuta con il FrACT è peggiore di quella ottenuta con il Video Swichther ($p = 0.004$) e con la Bit# ($p = 0.014$).

Esperimento 2.

In questo caso i soggetti analizzati sono 26, di età compresa tra i 7 e i 52 anni, con una media di 20.15 ± 10.62 anni. Anche in questo caso, come nel precedente si nota una maggior affluenza di femmine, ben 18 (69%) e solo 8 maschi (31%) (grafico 6). Tra questi 20 sono emmetropi (77%), 1 è ipermetrope (4%) e i rimanenti 5 sono miopi (19%) (grafico 7).



Grafico 6. Distribuzione del sesso

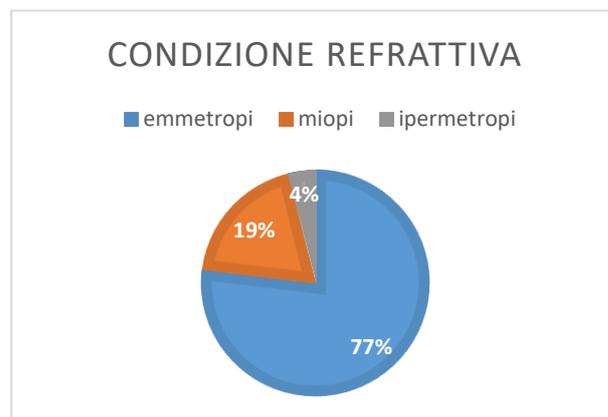


Grafico 7. Condizione refrattiva dei soggetti analizzati

Il metodo di costruzione delle curve di sensibilità al contrasto di ogni strumento e del confronto, è il medesimo utilizzato per il primo esperimento, e anche in questo caso successivamente è stata condotta un'analisi della varianza (ANOVA) a misure ripetute per mostrare le differenze significative fra i risultati delle sensibilità al contrasto ottenute con i differenti strumenti di misurazione e frequenze spaziali (grafico 8).

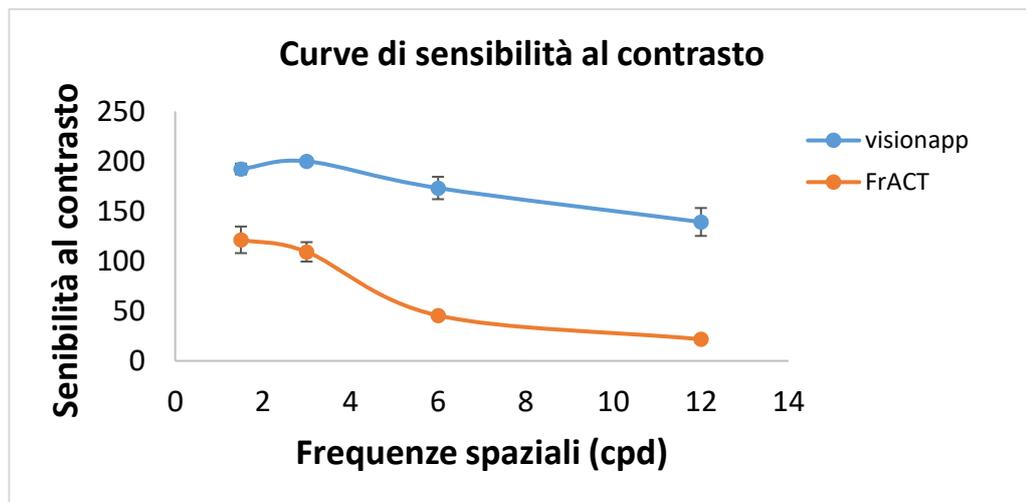


Grafico 8. Confronto delle due curve di sensibilità al contrasto ottenute con i diversi strumenti utilizzati

I fattori sono gli strumenti utilizzati (visionapp e FrACT) e le frequenze spaziali (1.5-3-6-12 cpd). In questo caso si può già notare a livello grafico (grafico 8) che i differenti strumenti portano a risultati che non sono equivalenti. Il fattore principale strumento risulta significativo ($F_{(1,25)} = 150.558$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.858$) e anche il fattore frequenze spaziali ($F_{(2,164,54.109)} = 47.003$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.653$). I post-hoc t-test corretti con Bonferroni mostrano che la prestazione ottenuta misurando i 3 cpd è migliore di quella ottenuta a 6 ($p < 0.001$) e 12 cpd ($p < 0.001$). Infine si può notare che i valori trovati a 12 cpd sono sempre peggiori rispetto a tutti gli altri ($p < 0.001$).

Le analisi mostrano anche che l'interazione strumenti x frequenze spaziali è significativa ($F_{(2,103)} = 5.777$, $p = 0.005$, $\eta^2_p = 0.188$). Ancora una volta sono stati calcolati i post-hoc t-test corretti con Bonferroni e mostrano che a tutte le frequenze spaziali i due strumenti hanno risultati diversi ($p < 0.05$), e che le prestazioni utilizzando il visionapp risultano migliori a tutte le frequenze spaziali rispetto al FrACT.

Anche per questo esperimento dopo tale confronto si è proceduto a fare un'analisi della varianza (ANOVA) mista per verificare eventuali differenze tra i risultati ottenuti dai soggetti emmetropi e quelli ottenuti dai soggetti miopi (grafici 9 e 10).

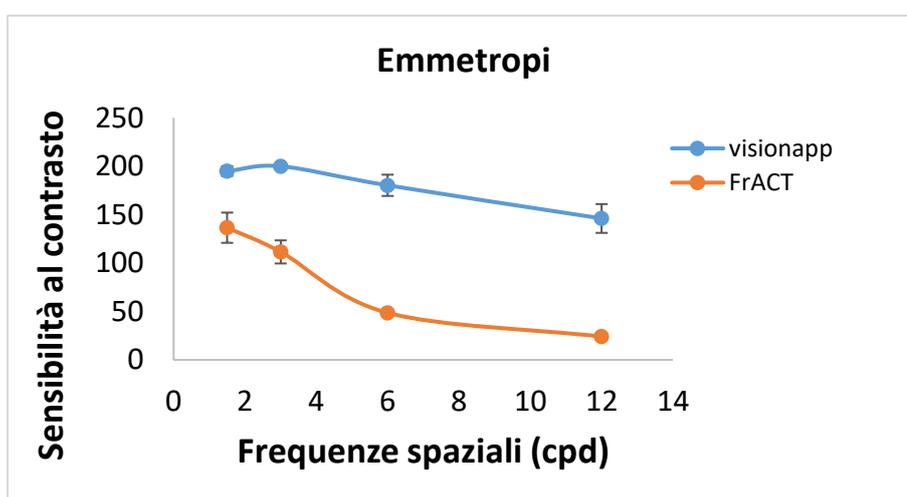


Grafico 9. Confronto delle curve di sensibilità al contrasto ottenute da soggetti emmetropi

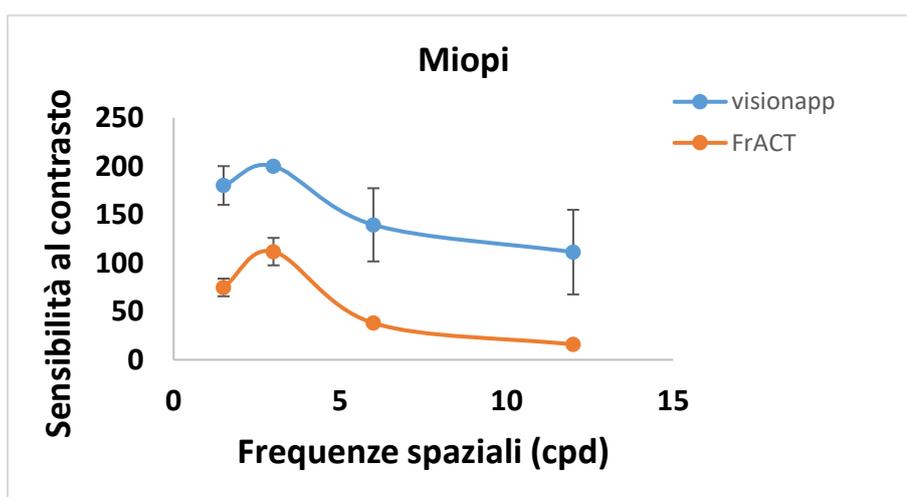


Grafico 10. Confronto delle curve di sensibilità al contrasto ottenute da soggetti miopi

I fattori entro i soggetti sono gli strumenti utilizzati (FrACT e visionapp) e le frequenze spaziali (1.5 3 6 12 cpd), mentre il gruppo (emmetropi e miopi) è un fattore tra i soggetti. Il fattore gruppo risulta marginalmente significativo ($F_{(1,23)} = 4.231$, $p = 0.05$, $\eta^2_p = 0.155$). Mentre il fattore strumento risulta significativo ($F_{(1,23)} = 86.046$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.789$), come anche il fattore frequenza spaziale ($F_{(2.124,48.853)} = 30.637$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.5712$). I post-hoc t-test corretti con Bonferroni mostrano che i risultati ottenuti con la frequenza spaziale 1.5 cpd sono migliori di quelli ottenuti a 6 ($p < 0.001$) e 12 cpd ($p < 0.001$). Anche la prestazione ottenuta misurando i 3 cpd è migliore di quella ottenuta a 6 ($p < 0.001$) e 12 cpd ($p < 0.001$). Infine si può notare che i valori ottenuti a 12 cpd sono sempre peggiori rispetto a tutti gli altri ($p < 0.001$).

Inoltre grazie al confronto delle medie dei risultati ottenuti dai due gruppi (Tabella 1), si può dire che il gruppo composto da soggetti emmetropi ha ottenuto prestazioni leggermente migliori rispetto al gruppo dei miopi.

cpd - visionapp	1,5	3	6	12
media SC emmetropi	195	200	180,32	146,08
deviazione standard emmetropi	22,36	0,00	49,18	66,54
media SC miopi	180	200	139,40	111,20
deviazione standard miopi	44,72	0,00	84,49	97,69
cpd - FrACT	1,5	3	6	12
media SC emmetropi	136,54	111,53	48,61	24,10
deviazione standard emmetropi	69,88	53,38	12,60	11,83
media SC miopi	74,71	111,72	37,92	15,78
deviazione standard miopi	20,39	31,68	6,00	6,14

Tabella 1. Medie e deviazioni standard della sensibilità al contrasto ottenuta con il visionapp e con il FrACT

CAPITOLO 4: DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Esperimento 1.

Dai risultati ottenuti si può notare che tutte le curve seguono la conformazione che ci si poteva aspettare, ovvero la presenza di un picco ai 3 cpd (in quanto gli stimoli appartenenti alle medie frequenze spaziali risultano più individuabili da parte del sistema visivo) e una graduale caduta alle alte e basse frequenze spaziali. Le sinusoidi a bassa frequenza sono meno efficaci perché la luce di un emiciclo cade su una parte periferica del campo recettivo, mentre la caduta alle alte frequenze spaziali può essere spiegata dall'incapacità del sistema visivo di riconoscere i dettagli. Però se si confrontano le quattro curve risultanti, si può evidenziare che ci sono delle differenze tra i quattro strumenti. Per quanto riguarda gli 0.25 cpd si può notare che la prestazione ottenuta con il Bit Stealing è migliore rispetto a quella ottenuta con il Video Switcher, e una cosa simile accade anche per quanto riguarda i 9 cpd. Sempre a 9 cpd i risultati ottenuti sono visibilmente differenti per quanto riguarda il Bit Stealing e il FrACT, mentre se si analizzano i valori prodotti dalla Bit# e dal Video Switcher notiamo che sono quasi sovrapponibili. Quindi si può dedurre che i soggetti abbiano avuto meno difficoltà nell'individuare gli stimoli con il Bit Stealing, rispetto al FrACT in cui la prestazione è notevolmente peggiorata. Questa differenza può derivare dal fatto che per questi strumenti sono stati utilizzati due monitor e due compiti differenti. Infatti i due monitor utilizzati sono uno LCD (con il Bit Stealing) e l'altro CRT (con gli altri tre strumenti), inoltre il primo è stato calibrato grazie all'utilizzo dello spyder, in modo da presentare nel modo più corretto i colori e linearizzare i valori del gamma, mentre il secondo no. Inoltre per quanto riguarda i compiti utilizzati, i soggetti riferiscono di aver trovato più

difficoltà nel selezionare la risposta corretta con il FrACT, in quanto le opzioni di risposta erano quattro, mentre con il Bit Stealing le opzioni erano la metà, quindi due. Questa differenza notata per i 9 cpd è visibile anche ai 15 cpd, però in questo caso l'effetto di differenziamento tra Bit Stealing e FrACT è meno accentuato. A questa frequenza spaziale si nota inoltre che la prestazione peggiore è stata ottenuta con il FrACT, probabilmente anche in questo caso la causa può essere rintracciata nel metodo di risposta e nella conformazione dello stimolo (ovvero un reticolo con barre molto sottili visto che la frequenza spaziale analizzata è elevata). Al contrario, per quanto riguarda gli 1 e i 3 cpd notiamo la presenza di valori abbastanza sovrapponibili.

Oltre al confronto tra i vari strumenti si è proceduto anche con il confronto delle curve di sensibilità al contrasto ottenute da due sottogruppi (gli emmetropi e i miopi), in modo da verificare l'eventuale presenza di valori differenti. In entrambe le curve si può notare che i risultati ottenuti a 0.25 cpd sono peggiori rispetto a quelli ottenuti a 1 e 3 cpd. Inoltre è possibile evidenziare che i risultati ottenuti a 3 cpd rappresentano il caratteristico picco della curva di sensibilità al contrasto. Oltre a questo elemento già rintracciabile nel precedente confronto non sono state notate particolari differenze tra i risultati ottenuti dai due gruppi, infatti le curve di sensibilità al contrasto prodotte dai due sottogruppi risultano essere simili. Tale risultato è sicuramente dovuto dal fatto che i miopi presi in considerazione hanno fatto tutti i test con la correzione che abitualmente utilizzano e con la quale riferiscono di vedere molto bene (questo dato è emerso dal questionario proposto prima di cominciare le batterie di test). Inoltre tutti i valori di miopia sono inferiori alle 3.00 D, quindi il difetto refrattivo non è ancora considerato come elemento in grado di causare

un peggioramento nella prestazione rispetto ai soggetti emmetropi. L'ultimo elemento a favore delle buone prestazioni ottenute dai miopi è rintracciabile nuovamente dal questionario, infatti la maggior parte dei soggetti riferisce di utilizzare spesso dispositivi computerizzati durante la giornata, perciò grazie a tale fattore i soggetti possono risultare già allenati alla presentazione di stimoli a diversi livelli di luminosità, visto che proprio quest'ultima variabile si può modificare in tutti i dispositivi elettronici.

Esperimento 2.

Da questo secondo esperimento si può notare che per quanto riguarda il visionapp il picco è presente ai 3 cpd (come nel precedente esperimento), mentre nel FrACT i risultati ottenuti a 3 cpd risultano quasi uguali a quelli ottenuti a 1.5 cpd. Anche in questo caso i valori ottenuti a 6 e 12 cpd risultano essere peggiori rispetto ai valori ottenuti a 1.5 e 3 cpd. Oltre a ciò si può notare che tutte i valori ottenuti con il FrACT sono inferiori rispetto a quelli ottenuti con il visionapp. In particolare si evidenzia una notevole differenza per quanto riguarda i risultati ottenuti ai 6 e 12 cpd. Questo elemento può essere giustificato analizzando i diversi metodi di risposta nei due strumenti, infatti nel visionapp si usava il metodo del confronto, quindi il soggetto doveva confrontare lo stimolo principale con le quattro differenti risposte, mentre nel FrACT l'osservatore doveva decidere l'orientamento corretto dello stimolo presentato, senza avere la possibilità di confrontarlo con le quattro risposte possibili. Proprio a causa di tale differenza il gruppo analizzato ha riferito di aver trovato minor difficoltà con il visionapp. Però in questo strumento è presente un limite per quanto riguarda la misurazione delle soglie. Infatti si è notato che il

valore massima di sensibilità al contrasto che riesce a misurare è 200, mentre con il FrACT si sono misurati quattro valori di sensibilità al contrasto superiori ai 200, perciò non è detto che i valori trovati con il visionapp rappresentino la miglior prestazione del soggetto analizzato.

Anche in questo secondo esperimento si sono confrontate le prestazioni ottenute dai soggetti emmetropi con quelle ottenute dai soggetti miopi, ed è emerso che il primo gruppo (emmetropi) ha ottenuto prestazioni leggermente migliori rispetto al secondo gruppo (miopi).

Nonostante tale misurazione possa dare notevoli informazioni sul funzionamento dell'apparato visivo, oggi giorno viene testata principalmente in soggetti che hanno particolari esigenze lavorative, come per esempio piloti d'arei o di navi, quindi coloro che hanno a che fare con condizioni di luminosità in cui è necessario avere una buona discriminabilità tra oggetto e sfondo. Questo accade probabilmente a causa del poco tempo a disposizione nelle cliniche optometriche, in cui gli specialisti preferiscono dare più spazio a un controllo più accurato dell'analisi visiva basandosi sui sintomi che i soggetti presentano. Va però ricordato che la misurazione accurata con gli strumenti adeguati della curva di sensibilità al contrasto è importante in diversi occasioni come per esempio per la diagnosi precoce di alcune patologie tra cui: la cataratta, il glaucoma, la sclerosi multipla, il diabete e la maculopatia. Per la valutazione di condizioni post chirurgiche o traumatiche, per indagare sull'effetto prodotto da alcune tecniche di correzione refrattiva (come per esempio l'ortocheratlogia), per il follow-up di patologie oculari di tipo cronico e infine per i soggetti che lamentano un'alterazione della qualità visiva nonostante quest'ultima sia elevata,

proprio perché la sensibilità al contrasto fornisce un'analisi oculare più precisa dato che permette di evidenziare perdite di risoluzione non evidenziabili in altri modi. Inoltre la valutazione della sensibilità al contrasto fa parte dei test per il rilascio e il rinnovo della patente di guida (D. Lgs 59/2011), anche se nella normale pratica questa procedura viene poco considerata.

Nome e Cognome _____ Età _____ M F N° soggetto _____

CONSENSO INFORMATO

Sono stato/a informato/a dello scopo dello studio e del compito che dovrò svolgere; e anche che tutti i dati che mi riguardano rimarranno riservati e accessibili solo ai responsabili del progetto, secondo quanto stabilito dalla legge (Dlgs. n. 196/2003). I miei dati potranno essere oggetto di divulgazione a conferenze o articoli su riviste scientifiche ma solo in forma aggregata o anonima. Mantengo il diritto di interrompere la mia partecipazione allo studio in qualsiasi momento, senza fornire alcuna spiegazione e senza alcuna penalizzazione. In questo caso, i miei dati non verranno utilizzati dai responsabili dello studio. So che le persone che conducono la ricerca potranno avere accesso ai miei dati limitatamente ai fini della loro elaborazione e alla pubblicazione anonima dei risultati a fine scientifico.

Autorizzo i responsabili del presente studio di utilizzare i miei dati.

QUESTIONARIO DI ANAMNESI

Correzione in uso: OD _____ OS _____ LaC occhiale

	Sì	No	Se sì, specificare
1- Patologie (diabete, glaucoma, cheratocono, altro)			
2- Traumi oculari			
3- Interventi oculari			
4- Utilizzo di farmaci			
5- Vede bene con la correzione in uso			
6- La visione è confortevole nelle condizioni attuali			
7- Ha la sensazione di visione non ottimale (come se mancasse qualcosa), anche se vede bene			

Disturbi:	Mai	Raramente	Spesso	Sempre
1- Nella lettura da vicino				
2- Nella guida al crepuscolo				
3- Nella guida con nebbia				
4- Agli occhi dopo l'utilizzo di computer o tablet				
5- Nel mantenere l'attenzione nello svolgere incarichi				
6- Quanto usa il computer o il tablet durante il giorno				
7- Durante la giornata ha la sensazione di vedere offuscato				

BIBLIOGRAFIA

1. Andrea Moriondo e Marco Piccolino, *Retina e visione: elogio dell'imperfezione. Seconda parte: Imperfezioni ottiche, campionamento e "aliasing"*
2. Anto Rossetti e Pietro Gheller (2003), *Manuale di optometria e contattologia, seconda edizione*, casa editrice: Zanichelli
3. Anto Rossetti, *Test di Sensibilità al Contrasto tSC. Una versione semplificata per screening. Istruzioni d'uso*
4. Antoni Silvestri (2003), *Appunti sulle tecniche di compressione Audio e Video*
5. C. Blakemore and F. W. Campbell (2008), *On the existence of neurones in the human visual system selectively sensitive to the orientation and size of retinal images*, J. Phyeiol. (1969), 203, pp. 237-260, the journal of physiology
6. Chiara de Waure, Giuseppe La Torre, Walter Ricciardi (2009), *Approcci o diagnostico e terapeutico alla degenerazione maculare senile (AMD)*, Italian Journal of Public Health Year 7, Volume 6, Number 2, Suppl. 3
7. Christopher W. Tyler, *Colour Bit-Stealing to Enhance the Luminance Resolution of Digital Displays on a Single Pixel Basis*
8. Clara Casco (1992), *Vedere*, casa editrice: Bollati Boringhieri
9. Crossland, Michael D., Rubin, Gary S. (2012), *Text accessibility by people with reduced contrast sensitivity*, Opometry and vision science
10. Cynthia Owsley PhD (2014) *Contrast sensitivity*, ResearchGate

11. D. G. Pelli, J. G. Robson and A. J. Wilkins J (1988), *The design of a new letter chart for measuring contrast sensitivity*, Clin. Vision Sci. Vol. 2, No.3, pp. 187-19
12. Denis G. Pelli, Peter Bex (2013), *Measuring contrast sensitivity*, vision research
13. Dominga Ortolan, *Dispense Ottica geometrica e visuale*, Università degli Studi di Padova, CdL in Ottica e Optometria; A.A. 2014/2015
14. Dott. Pio Malfatti, Maria Pia Broccoli, M. Carolina Malfatti, *Valutazione delle Patologie Visive nel Rilascio del Certificato di Idoneità alla Guida*
15. Dott.ssa Antonella Vecchies, Dott. Tiziano Testa, Prof.ssa Clara Casco (2011), *Plasticità neurale e apprendimento percettivo*, professional optometry
16. E. Bruce Goldstein, *Sensation and Perception*, eighth edition, Wadsworth
17. Edoardo Midena (2006), *Malattie dell'apparato visivo*, casa editrice: Cedam
18. Enciclopedia medica italiana/aggiornamento 1 della 2 ed. 4
19. Enciclopedia Treccani
20. Gianluca Campana, *Dispense psicofisica della visione*, Università degli Studi di Padova, CdL in Ottica e Optometria; A.A. 2015/2016
21. Guang-ming Dai (2008), *Wavefront optics for vision correction*
22. J. L. Barbur, A. Stockman (2010), *Photopic, mesopic and scotopic vision and changes in visual performance*, Elsevier

23. Jens Bühren MD, Evdoxia Terzi MD, Michael Bach PhD, Wolfgang Wesemann PhD, Thomas Kohnen MD (2006) *Measuring CS under different lighting condition comparison of three tests*, Optometry and Vision Science
24. Lucio Buratto (2012), *I difetti della vista-miopia, ipermetropia, astigmatismo, presbiopia, cataratta. Informati!*, editore: Fabiano
25. Manual of the Freiburg Vision Test 'FrACT', Version 3.9.0 (2014)
26. Marco Piccolino e Anacleto Navangione, *Un sistema sensoriale ad alte prestazioni la retina dei vertebrati*
27. Massimo G. Bucci (1999), *Oftalmologia*, casa editrice: Società Editrice Universo
28. Peter G. J. Barten (1999), *Contrast Sensitivity of the Human eye and its effects on image quality*, casa editrice: Spie Optical Engineerin Press
29. Psychology online, psicofisica della percezione umana
30. Puell MC, Palomo C, Sánchez-Ramos C, Villena C. (2004) *Normal values for photopic and mesopic letter contrast sensitivity*, PubMed
31. Robert Shapley, Dominic Man-Kit Lam (1993), *Contrast Sensitivity*, volume five, a Bradford Book, the MIT Press
32. Silvio Maffioletti e Letizia Ruggeri (2003-2004), *Rilevazione, registrazione e valutazione dell'acutezza visiva*, Università degli Studi di Milano Bicocca Corso di Laurea in Ottica e Optometria Anno Accademico 2003-2004
33. Silvio Maffioletti, *Occhio alla visione, durante la guida*

34. Stanley A. Klein School of Optometry, University of California at Berkeley, Berkeley, *Channels: bandwidth, channel independence, detection vs discrimination*
35. Stefan Winkler (2005), *Digital video quality: vision model and metrics*, casa editrice: Wiley
36. Stefania Piaggi, Ortottista (Struttura Complessa di Oftalmologia Azienda Ospedaliero, Universitaria Policlinico, Modena), *Valutazione delle funzioni visive monoculari*
37. Steven H. Schwartz (2004), *Visual Perception a clinical orientation, third edition*
38. Takahiro Hiraoka, Sujin Hoshi, Yoshifumi Okamoto, Fumiki Okamoto, Tetsuro Oshika (2015) *Mesopic functional visual acuity in normal subjects*, Plos one
39. Traduzione di: Stephen E. Palmer (1999), *Vision Science*, a cura di studenti del corso di Psicologia della Percezione 1999 - 2000 dell'Università degli studi di Trieste
40. User's Manual of Video Switcher
41. Vinesh Sukumar, Herbert L. Hess, Ken V. Noren, Greg Donohoe, Suat AY, *Study on Threshold Patterns with Varying Illumination Using 1.3m Imaging System*, Scientific Reserch