

**Università degli Studi di Padova**  
**Dipartimento di Fisica e Astronomia**

**Corso di Laurea Triennale in Ottica e Optometria**

**Tesi di laurea**

***La condizione di eteroforia in visione  
prossimale nel miope: effetti, correlazioni,  
utilità clinica***

Relatore : Prof. Anto Rossetti

Laureando: Giorgia Artuso

Correlatore: Prof. Luca Stanco

Matricola: 1068978

A.A. 2015-2016



*A mia nonna,  
fonte di forza, coraggio  
e determinazione.*



# INDICE

Premessa

Capitolo 1: Introduzione	pag. 1
1.1 Miopia: definizione e classificazione	pag. 1
1.2 Rischi legati alla miopia	pag. 3
1.3 Fattori di rischio legati alla miopia	pag. 4
1.4 Strategie per il controllo della miopia	pag. 6
1.5 Evidenza scientifica per la correzione della miopia	pag. 9
Capitolo 2: Visione binoculare e miopia	pag. 13
2.1 Lavoro prossimale: risposte accomodative e del sistema di vergenza	pag. 13
2.2 Lo studio di Goss	pag. 14
2.3 Considerazioni sulla comparsa della miopia	pag. 19
Capitolo 3: Lo studio	pag. 22
3.1 Selezione dei soggetti e metodi	pag. 22
3.2 Analisi statistica	pag. 24
3.3 Descrizione delle variabili	pag. 26
Capitolo 4: Conclusione	pag. 33
4.1 Risultati	pag. 33
4.2 Discussione	pag. 35
Appendice: Tabella con i risultati	pag. 37
Bibliografia	pag. 39



## **Premessa**

La miopia può essere definita come “un male del secolo” ma lasciamo spiegare questa affermazione ai numeri: The World Health Organisation, nel 2007, ha stimato che nel mondo i miopi sfiorano i 158 milioni. [1] Però, la miopia non solo è molto diffusa ma numericamente continua a crescere; infatti, studi evidenziano che entro il 2020 i soggetti miopi toccheranno i 25 miliardi, cioè un terzo della popolazione mondiale. [2]

Tra le cause di questo notevole aumento ritroviamo la grande quantità di tempo impiegato nel lavoro da vicino: siamo, infatti, in una nuova epoca caratterizzata da un cambiamento radicale nel sistema di lavoro. Sempre più professioni richiedono una grande quantità di ore impiegando la visione da vicino; per questo motivo, il nostro sistema visivo si adatta per consentire un miglior comfort durante le attività prossimali causando la miopia.

Da non dimenticare, poi, è la fascia degli studenti: numerosi studi hanno trovato una consistente correlazione tra istruzione e miopia. Questo fenomeno si può osservare in molti Paesi dell'Asia che, nel corso degli ultimi due decenni, sono stati protagonisti di un rapido sviluppo economico che ha favorito anche la crescita degli standard dell'istruzione. Quindi, non solo gli studenti trascorrono la maggior parte delle ore di luce in classe, ma rimangono in casa anche la restante parte della giornata, sia per completare i compiti sia per dedicarsi ad attività al chiuso. Questo stile di vita risulta fortemente dannoso ai giovani occhi, in quanto, di recente è emerso che ciò che incide fortemente sull'insorgenza e sulla progressione miopica è la ridotta quantità di tempo trascorso all'aperto. [3]

Indipendentemente dalla causa, il compito dell'optometrista è quello di far fronte a questo fenomeno valutando la migliore strategia di controllo e di prevenzione, ossia adottare metodi che permettono di evitare lo sviluppo della miopia e, nel caso in cui si sia già verificata, rallentarne o addirittura bloccarne l'avanzamento.

Innanzitutto, per poter evitare l'insorgenza della miopia bisogna porre attenzione a quei fattori che possono essere "premonitori" del difetto refrattivo. Questi sono stati esaminati nello studio di Goss del 1991 e approfonditi in questo elaborato.



# 1. Introduzione

## 1.1 Miopia: definizione e classificazione

Il potere refrattivo di un occhio otticamente normale, ad accomodazione rilassata, permette la convergenza di raggi paralleli, provenienti quindi da un punto oggetto posto all'infinito, sulla retina, formando il punto immagine. Questa è la condizione ottica ideale e viene detta emmetropia. Nel caso in cui il punto immagine non cade sulla retina, si parla di ametropia. [4]

Quindi, si può dire che la miopia è un'ametropia in cui il piano focale dell'immagine, costruita dal sistema ottico oculare, si trova prima del piano anatomico della retina (Fig. 1), considerando sempre l'accomodazione rilassata e un punto oggetto posto all'infinito.

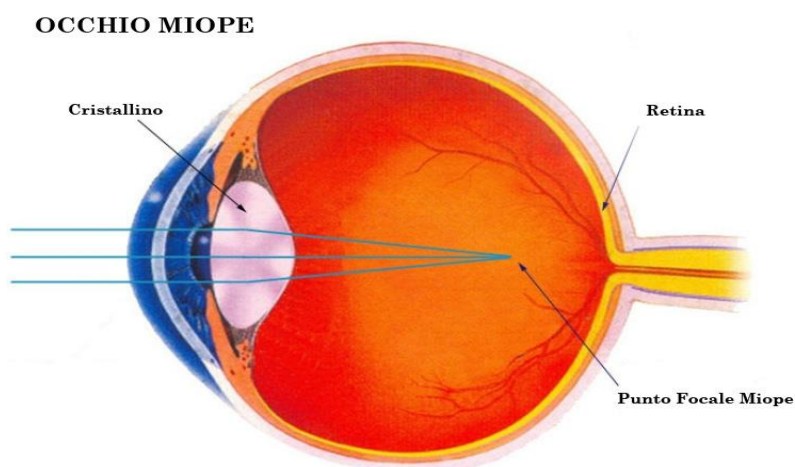


Figura 1. Rappresentazione del punto immagine in un occhio miope. Come si può notare, il punto focale dell'immagine cade prima del piano anatomico retinico.

Si possono distinguere diversi tipi di miopia a seconda del criterio di classificazione analizzato. Si ha il criterio di classificazione per entità (lieve, intermedia, elevata), per età d'insorgenza (congenita, giovanile, precoce e tardiva), per decorso (stabilizzata, progressiva) e per effetti

secondari sulla salute oculare (fisiologica e patologica). Li vediamo riassunti nella seguente tabella (Tab. 1).

<u>Criterio di classificazione</u>	<u>Tipo di miopia</u>
Entità	Miopia lieve Miopia intermedia Miopia elevata
Età d'insorgenza	Miopia congenita Miopia precoce Miopia tardiva
Decorso	Miopia stabilizzata Miopia progressiva
Effetti secondari sulla salute oculare	Miopia fisiologica Miopia patologica

**Tabella 1. Classificazione della miopia in base a differenti criteri.**

A seconda dell'entità della miopia (Curtin, 1985), possiamo definire:

- *Miopia lieve*, in cui il difetto refrattivo è  $\leq 3$  D;
- *Miopia intermedia*, caratterizzata da un errore compreso tra le 3-6 e le 8 D;
- *Miopia elevata*, dove l'errore refrattivo è elevato (8-10 D).

In base all'età di insorgenza, si possono distinguere:

- *Miopia congenita*, presente alla nascita e nella prima infanzia;
- *Miopia precoce*, che si verifica presto nell'infanzia o prima dei 16 anni;
- *Miopia tardiva*, che ha inizio dopo i 16 anni o in età adulta.

Considerando il decorso che può avere la miopia, possiamo riconoscere:

- *Miopia stabilizzata*, la quale si consolida oppure varia minimamente durante l'età adulta;

- *Miopia progressiva*, che si modifica significativamente anche in età adulta ed è spesso associata ad alterazioni coroido-retiniche. Quando si parla di miopia precoce, essa può progredire in modo marcato di circa 0,50 D all'anno, mentre quando la miopia è ad inizio tardivo la progressione risulta minore (circa 0,14 D all'anno). Solitamente, il progredire della miopia è maggiore nelle femmine (Goss, 1991).

La progressione, principalmente, si verifica per la gran parte delle forme di miopia primarie, mentre si presenta più raramente nelle forme secondarie (per esempio, quelle causate da un cheratocono o da una cataratta) o per quelle accomodative.

Infine, per quanto riguarda la classificazione osservando gli effetti secondari sulla salute oculare si ha:

- *Miopia fisiologica*, con la quale l'acuità visiva risulta normale mediante l'utilizzo della correzione ottica;
- *Miopia patologica*, dove sono presenti cambiamenti degenerativi della coroide e della retina, e l'acuità visiva, con l'utilizzo della correzione, risulta essere inferiore alla norma. [5]

## **1.2 Rischi legati alla miopia**

La miopia, oltre ad avere molte ripercussioni dal punto di vista economico per la persona e modeste nei sistemi sanitari che non provvedono alla correzione o al trattamento, è correlata a potenziali complicanze oculari nei casi (più rari) delle miopie elevate (8-10 D). In particolar modo, questo problema di salute pubblica incide particolarmente nei sistemi sanitari che sono a totale gestione sociale.

Solitamente, le patologie oculari legate alla miopia sono dovute ad un eccessivo allungamento del bulbo, associato a cambiamenti patologici del fondo oculare come emorragie, rotture e distacchi retinici. [5] Inoltre, nelle miopie elevate aumenta l'incidenza di cataratta, glaucoma,

neovascolarizzazione coroidea, anomalie al cristallino e degenerazione maculare legata all'età.

Quindi, la miopia elevata, a causa delle conseguenze che si possono verificare, è potenzialmente una condizione che può portare ad importanti impedimenti visivi e alla cecità. È quindi di notevole rilevanza la prevenzione della progressione miopia nei casi di miopia precoce con progressione elevata, per evitare il raggiungimento di una condizione patologica. [6]

### **1.3 Fattori di rischio della miopia**

Malgrado siano stati condotti numerosi studi, l'esatta eziologia della miopia ad oggi non è chiara. L'unica certezza che si ha sull'origine di questo difetto refrattivo è che non insorge a causa di un singolo elemento ma per un insieme di fattori (è detta quindi multifattoriale), che possono essere sia genetici che ambientali. Inoltre, le cause differiscono significativamente tra miopie elevate e lievi: nelle prime sembrano prevalere i fattori di tipo genetico mentre nelle seconde quelli di tipo ambientale.

Le cause principali sono elencate qui di seguito.

- *Familiarità:* dallo studio sulla miopia di Sidney è affiorato che i bambini con un genitore miope e quelli con entrambi i genitori miopi hanno un rischio rispettivamente di 2 e 8 volte più alto di diventare miopi rispetto a quelli con entrambi i genitori non miopi; inoltre, all'aumentare del grado di miopia dei genitori, aumenta il rischio d'insorgenza della miopia per i figli. [7]
- *Attività all'aperto:* numerosi studi hanno verificato che gli studenti che trascorrono più ore all'aperto e meno in attività prossimali presentano una minor tendenza alla miopia rispetto a quelli che dedicano più tempo al lavoro da vicino; si pensa che la grande quantità di luce

determini il rilascio della dopamina ed un aumento della quantità di vitamina D, entrambe coinvolte nell'inibizione dell'allungamento del bulbo oculare. Interviene, inoltre, a inibire la progressione miopica anche la grande quantità di "luce blu", ovvero la componente a maggiore energia nello spettro visibile, presente durante il giorno. [8]

- *Refrazione periferica:* secondo il modello di Smith e coll., anche le aree retiniche periferiche giocano un ruolo molto importante nella condizione refrattiva complessiva dell'occhio; è stato riscontrato in molti studi che il defocus ipermetropico periferico induce un aumento della lunghezza assiale del bulbo oculare, al contrario di quello miopico. [9] Tuttavia questo modello è stato contestato recentemente: affinché il defocus ipermetropico causi la miopia deve innanzitutto essere rilevato dal sistema visivo e deve essere relativamente costante; la quantità di defocus periferico comincia a diversificarsi dall'errore refrattivo intorno ai 10-30° centrali, dove coni e cellule gangliari non possono essere abbastanza dense per rilevarlo. Sulla base di ciò, Campell e Irving dubitano dell'abilità della retina periferica di individuare il defocus periferico. [10]
- *Attività prossimali ed istruzione:* è la causa di miopia di lieve o media entità più tradizionalmente citata; verrà approfondita in seguito.
- *Attività dell'accomodazione e relazione con la convergenza:* già nel 1864 Donders pensava che la miopia fosse la conseguenza di un eccessivo stress oculare dovuto al lavoro da vicino; [11] poi Kelly, nel 1975, parlò del ruolo dell'accomodazione, definendo la miopia come "glaucoma espansivo giovanile", in quanto, conseguentemente al lavoro prossimale, la pressione intraoculare aumentava con successiva espansione della camera vitrea. [12] Quindi Young, nel 1975, misurò le variazioni di pressioni intraoculari durante l'accomodazione mediante una radiosonda impiantata chirurgicamente nei macachi: queste

scimmie hanno una risposta molto forte al contatto visivo a tal punto che non distolgono lo sguardo fino a che la persona non smette di guardarlo negli occhi. Il risultato, ottenuto anche grazie a esperimenti successivi, dimostrava che osservando ad una distanza di 6 m la pressione intraoculare era di 12 mmHg mentre con uno stimolo a 20 cm la pressione cresceva a 24 mmHg. Quindi, mantenendo la distanza di osservazione costante anche la pressione intraoculare rimaneva la stessa; altresì, si notava un aumento della pressione al diminuire della distanza di osservazione. Quindi, questi studi sostengono la teoria che l'allungamento bulbare è dovuto ad un aumento di pressione intraoculare, causato, a sua volta, dall'accomodazione. [13]

Anche Greene, nel 1978, prese in considerazione sia l'accomodazione che la convergenza come causa della miopia e attribuì un ruolo predominante alla convergenza, rispetto all'accomodazione, anche se questi meccanismi avvengono simultaneamente quando si osserva un oggetto posto in prossimità. [14]

#### **1.4 Strategie per il controllo della miopia**

Per poter far fronte alla miopia ci sono numerosi trattamenti, atti a impedirne la progressione. Vediamoli, in breve, nel seguente elenco.

- *Occhiale monofocale*: è la correzione più comunemente usata ma, come spiegato in precedenza, le lenti negative creano un defocus periferico ipermetropico in quanto il loro potere in periferia è maggiore; secondo il modello di Smith et al. presentato precedentemente, questa condizione può causare la progressione della miopia. A tal proposito sono state progettate da Zeiss delle lenti asferiche che permettono di minimizzare l'effetto in periferia.

La regola generale per la correzione ottica nei miopi è utilizzarla a permanenza, minima e completa.

Per quanto riguarda la correzione a permanenza, permette di ristabilire l'emmetropia, un proporzionale sforzo accomodativo e il sincronismo tra accomodazione e convergenza.

Questa correzione, a differenza dell'idea sostenuta da Duke-Elder, stimola un ulteriore adattamento, il quale può indurre accomodazione e aumento della miopia.

La correzione completa sembra essere quella più efficace rispetto alla sottocorrezione, in quanto quest'ultima determina una progressione di circa 0,20 D all'anno superiore alla compensazione completa.

Dobbiamo ricordare anche che l'occhiale deve mantenere l'equilibrio della visione binoculare. Per questo motivo il potere dell'occhiale va ridotto nel caso in cui la convergenza da vicino sia eccessiva (esoforia). Si deve porre attenzione anche ai casi di miopia dovuta alla componente accomodativa: per la visione da lontano può essere utilizzato un occhiale per ovviare ai problemi visivi, ma da vicino si può provvedere con un trattamento riabilitativo, con un'addizione positiva prossimale (cioè una correzione meno negativa) o, nei casi di miopia lieve, si può pensare ad eliminare la correzione (Grosvenor, 1991).

Infine, viene utilizzata la minima correzione che permette la visione nitida a distanza in quanto una sovracorrezione costringe il soggetto ad accomodare ulteriormente per neutralizzare l'eccesso di potere. [15]

- *Occhiali multifocali*: vengono prescritte anche nei giovani per poter ridurre la progressione miopica, inizialmente per limitare l'uso dell'accomodazione e, più recentemente, per poter ridurre l'effetto dato dal defocus ipermetropico; in modo più specifico, in alcuni studi è stato ipotizzato che i soggetti accomodano meno durante il lavoro da vicino (elevato lag), sperimentando un defocus ipermetropico e rischiando di sviluppare miopia o di causarne la progressione se già presente. Questa condizione è supportata dal fatto che i casi di miopi dovuti alla componente accomodativa presentano un maggiore lag accomodativo rispetto agli emmetropi. Per lo stesso motivo, anche i soggetti che

presentano esoforia da vicino possono essere candidati all'utilizzo di lenti multifocali in quanto anch'essi presentano un maggiore lag rispetto ai soggetti non esoforici. Infatti, nello studio di Goss, che verrà approfondito in seguito, viene evidenziata l'utilità che i soggetti miopi esoforici hanno nella riduzione dell'attività accomodativa. [16]

Quindi, il potere positivo da vicino determina un defocus miopico nella periferia retinica e questo supporta l'accomodazione e salvaguarda l'occhio dalla progressione miopica. [17]

Le lenti progressive e le lenti bifocali determinano una minore progressione (circa 0,16 D in meno) rispetto alle lenti monofocali. [18]

- *Lenti a contatto*: dallo studio di Walline et al. (2004) emerge che le lenti RGP hanno efficacia sulla progressione miopica, determinandone un rallentamento di circa il 28,8% in più rispetto alle lenti morbide. [20]

Quest'ultime, invece, non inducono rallentamento della miopia. Anzi, in uno studio ad alcuni bambini, dopo aver utilizzato delle lenti a contatto bifocali, è stato permesso di scegliere la correzione che meglio aggradava loro tra occhiali monofocali e lenti a contatto morbide. I soggetti che hanno scelto quest'ultime hanno riportato una progressione di 0,74 D mentre i soggetti che hanno preferito l'utilizzo degli occhiali è stata osservata una progressione di 0,25 D. [20]

Altri studi danno molta importanza alle lenti a contatto multifocali in quanto sono efficaci nel rallentamento della progressione miopica: ricordiamo, sempre in uno studio di Walline su bambini di età compresa tra gli 8 e gli 11 anni, un minore aumento dell'equivalente sferico dell'errore refrattivo, della profondità della camera vitrea e della lunghezza assiale nei soggetti corretti con lenti a contatto multifocali rispetto a quelli corretti con lenti a contatto monofocali. Gli autori hanno potuto concludere che le lenti a contatto multifocali hanno rallentato la crescita del bulbo oculare del 29% e la progressione dell'errore refrattivo del 50%. [21] Vista la differenza di percentuale, ed essendo una miopia assiale, c'è qualche fattore che sfugge.



- *Ortocheratologia*: prevede l'utilizzo di lenti a contatto rigide a geometria inversa con lo scopo di rimodellare la forma della cornea e compensare momentaneamente il difetto refrattivo. Molti studi riportano che questo tipo di trattamento può rallentare la progressione riducendo la crescita del bulbo di circa il 42% rispetto alla tradizionale correzione con lenti oftalmiche monofocali. [17] Nonostante l'efficacia, non sono ancora del tutto chiare le cause di questo effetto positivo (l'idea che la modifica dell'errore periferico, simile ad una lente a contatto multifocale centro lontano, sembra ora abbandonata).
- *Visual training*: è un approccio optometrico che si interessa al miglioramento e all'incremento del rendimento visivo. Essendo alcune miopie causate da una componente accomodativa ed altre interessate da esoforia da vicino, è possibile attuare delle tecniche di visual training in modo tale da controllare la possibile progressione miopica. Per questo viene organizzato un allenamento visivo che prevede specifici esercizi per il controllo miopico, ovvero quelli che allenano convergenza e accomodazione.

## **1.5 Evidenza scientifica per la correzione della miopia**

L'evidenza scientifica si fonda sul principio della valutazione dei migliori risultati della ricerca disponibili in quel preciso momento.

Quello che si credeva era che la relazione tra ricerca e pratica fosse di tipo lineare: il prodotto di uno studio, trasmesso al professionista, veniva utilizzato nella pratica quotidiana. In realtà questo sistema è più complicato, in quanto sono presenti numerosi ostacoli, ad esempio riuscire a reperire le informazioni clinicamente utili, la carenza di competenze metodologiche per interpretare la letteratura e i problemi legati alla risoluzione di un trial clinicamente randomizzato, in quanto la

sperimentazione clinica determina un valore “medio”, difficilmente applicabile ad un singolo paziente con determinate caratteristiche cliniche. Il primo che approfondì questo argomento fu Archibald Cochrane, che all’inizio degli anni '70 suggeriva di rendere disponibile ai pazienti, in ambito medico, solamente gli interventi di documentata efficacia. L’optometria basata su questo principio può migliorare l’efficacia e l’efficienza dell’assistenza, mediante la continua valutazione di nuovi risultati provenienti dalla ricerca. Però, questo è a volte ostacolato dall’avanzamento delle tecnologie in quanto bisogna saper valutare correttamente e dare il giusto “peso” agli studi a cui si fanno riferimento. Infatti, i lavori scientifici sono stati inseriti nella cosiddetta “piramide dell’evidenza” (Fig. 2) in ordine per importanza; questa classificazione favorisce l’individuazione delle migliori evidenze.



Figura 2. Piramide dell'evidenza scientifica.

Elencando dalla base al vertice della piramide i tipi di studi (cioè a partire dal meno significativo a livello clinico) si hanno:

- gli studi preliminari (in vitro e, in seguito, su modelli animali);
- gli studi che prevedono le opinioni di esperti;
- i case report;
- le serie di casi;

- gli studi caso-controllo;
- gli studi di coorte;
- i trial clinici randomizzati;
- le revisioni sistematiche e le metanalisi.

Partendo dai case report e dalla serie di casi, essi riguardano la descrizione del quadro clinico, della storia naturale e dell'effetto di un trattamento rispettivamente di uno o di un certo numero di casi clinici. Questi sono degli studi puramente descrittivi.

A differenza di questi sono presenti anche gli studi analitici e quelli sperimentali. Tra i primi vengono riconosciuti gli studi caso-controllo, ovvero uno studio retrospettivo che consente di verificare l'esistenza di una relazione causale fra un fattore eziologico o di rischio e una malattia/condizione, e lo studio di coorte; quest'ultimo è uno studio di tipo prospettico che valuta stesso tipo di relazione degli studi caso-controllo.

Per quanto riguarda gli studi di tipo sperimentale, si hanno gli studi controllati randomizzati e le revisioni sistematiche con o senza metanalisi.

Nei primi sono presenti due gruppi identici in tutto tranne per il trattamento sottoposto a valutazione; nei secondi invece viene presentata una sintesi dei risultati e le conclusioni di più pubblicazioni relativa ad una determinata condizione. Questo tipo di lavoro scientifico è necessario in quanto il numero di pubblicazioni e di ricerche su un determinato argomento è grande, considerare solo una parte delle informazioni disponibili può determinare un errore, la qualità metodologica degli studi è variabile e perché i risultati di diversi studi sullo stesso argomento possono differire fra di loro.

Le revisioni sistematiche possono includere o meno la metanalisi, la quale è un'analisi statistica che combina i risultati dei singoli studi ottenendo una stima complessiva. Però alla metanalisi ci sono una serie di obiezioni:

- si relazionano risultati relativi a pazienti, terapie e condizioni molto diverse;
- la qualità degli studi è variabile e difficile da misurare;

- i “risultati medi” sono difficili da trasferire per il trattamento ad un singolo paziente.

Ciò che risulta fondamentale nell’evidenza scientifica è saper riconoscere e utilizzare le evidenze disponibili; in tal modo, si facilita l’erogazione di una buona assistenza al soggetto.

## **2. Visione binoculare e miopia**

### **2.1 Lavoro prossimale: risposte accomodative e del sistema di vergenza**

Tra le varie cause di miopia spicca l'adattamento ad un lavoro prossimale prolungato. Ciò è stato correlato alla miopia in quanto, molto spesso, i miopi sono persone coinvolte molto nelle attività da vicino, presentano buone abilità nella lettura ed eccellono nell'ambito scolastico. [16]

Ma solo di recente (2016), in uno studio di K. Zadnik et al., è stato riportato che forse non si tratta di un adattamento al lavoro prossimale ma una ridotta permanenza nell'ambiente esterno.

In particolare, vediamo le due correnti classiche di pensiero riguardanti lo sviluppo della miopia a causa del lavoro prossimale. La prima, teorizzata da Cohn (1867,1886) e da altri autori, identifica l'insorgenza della miopia come un utilizzo eccessivo dell'accomodazione. La seconda, invece, considera la comparsa della miopia come strategia di adattamento, poiché la visione da vicino è più agevole per i soggetti miopi; questa teoria considera le modifiche delle stesse strutture anatomiche oculari per evitare affaticamento e stress dati dall'attività prossimale.

Quindi il lavoro da vicino può influenzare direttamente la miopia mediante l'accomodazione o indirettamente attraverso fenomeni ad essa collegati.

Si può ipotizzare un intreccio tra questi due meccanismi e spiegare, quindi, l'insorgenza della miopia nelle seguenti tre fasi:

- utilizzando in modo eccessivo l'accomodazione, essa può rimanere parzialmente attiva per un tempo superiore al normale e alcuni soggetti lamentano che, alternando la visione da vicino a lontano, la focalizzazione a distanza si presenta difficile in modo temporaneo; tale condizione viene chiamata inerzia accomodativa;
- Successivamente, questa situazione si conserva a lungo e, di conseguenza, si verifica un'alterazione della condizione accomodativa in stato di riposo o dell'accomodazione minima in

modo da essere indistinguibile dalla condizione refrattiva non accomodata;

- Infine, questo stato accomodativo prolungato causa un'alterazione delle strutture anatomiche, facendo diventare l'occhio anatomicamente miope. [5]

Come già detto, anche il defocus retinico gioca un ruolo molto importante nella crescita del bulbo oculare e nell'aumento dell'errore refrattivo. Analogamente alle lenti negative, un deficit nella risposta accomodativa (elevato lag accomodativo) colloca l'immagine dietro la retina durante il lavoro da vicino (defocus ipermetropico). Questo innesca il processo di spostamento della retina verso il fuoco immagine, causando l'allungamento bulbare. [8] Quindi, in realtà, non è tanto l'aumento dell'accomodazione che risulta essere essenziale nello sviluppo della miopia ma la mancanza di precisione nell'accomodazione da vicino, la quale si traduce come un elevato lag accomodativo. [16]

Ma, in letteratura, non si parla solo della condizione accomodativa prima dell'insorgenza della miopia, ma anche della condizione eteroforica, in particolare dell'esoforia da vicino. Questi due parametri sono stati presentati e studiati da Goss del 1991 e questo studio verrà approfondito nel capitolo seguente.

## **2.2 Lo studio di Goss**

Questo studio si prefigge di analizzare la condizione accomodativa ed eteroforica in soggetti giovani prima dell'insorgenza della miopia.

I soggetti vennero divisi in due gruppi: il primo comprendeva quelle persone che all'inizio dello studio erano emmetropi e tra i 6 e i 15 anni non sono diventati miopi; il secondo, invece, considerava i soggetti, inizialmente emmetropi, diventati miopi tra i 6 e i 15 anni.

L'emmetropia era definita come la condizione refrattiva compresa tra 0 e +1,00 D in entrambi gli occhi, mentre la miopia come l'errore refrattivo  $\geq -$

0,50 D in entrambi gli occhi. I dati refrattivi vennero raccolti considerando il massimo positivo binoculare.

Gli altri criteri di inclusione allo studio erano:

- astigmatismo al di sotto delle 2,50 D;
- nessuna lente a contatto indossata prima dell'ultimo esame dello studio;
- assenza di strabismo e ambliopia;
- assenza di problemi oculari;
- assenza di malattie sistemiche che possono influenzare i risultati oculari.

I soggetti provenivano da diverse località: (1) da una cittadina a Northeastern Iowa circondata da un'area agricola, (2) da una piccola città a Northern Illinois abitata per la maggiore da persone di origine caucasica, (3) da un'area urbana a Tulsa, in Oklahoma, abitata principalmente da persone di colore, (4) da una piccola cittadina abitata da persone di origine caucasica dedita all'attività agricola, (5) e (6) dalla stessa città a Northeastern Oklahoma con varie industrie e abitanti di varie etnie, (7) dalla periferia di Central Oklahoma, dove è presente una predominanza di popolazione caucasica.

I soggetti emmetropi e quelli diventati miopi sono stati accoppiati per località, genere ed età. Inoltre, la differenza di età nelle varie coppie non era maggiore di un anno.

I dati registrati per ogni soggetto includevano la foria da vicino con il metodo von Graefe (si utilizzava la correzione da lontano), i cilindri crociati binoculari, l'accomodazione relativa negativa (ARN) e l'accomodazione relativa positiva (ARP).

I risultati delle forie da vicino, delle ARN e delle ARP sono riassunti nella seguente tabella (Tab. 2).

	Became Myopic			Remained Emmetropic			Statistical Significance
	N	Mean	SD	N	Mean	SD	
Nearpoint phoria	61	+1.0	6.0	61	-2.0	6.0	p < 0.001
Binocular cross-cylinder	47	+0.90 D	0.49	47	+0.72 D	0.50	Not significant (0.05 < p < 0.10)
NRA	47	+2.39 D	0.45	47	+2.49 D	0.51	Not significant (0.20 < p < 0.50)
PRA	32	-2.53 D	0.98	32	-3.16 D	1.03	p < 0.02

Tabella 2. Valori medi e deviazioni standard (DS) di forie da vicino, ARN, ARP sia per i soggetti emmetropi sia per quelli diventati miopi. L'importanza statistica delle differenze tra le medie dei due gruppi è stata determinata mediante il t-test.

NRA e PRA corrispondono rispettivamente all'accomodazione relativa negativa e all'accomodazione relativa positiva, che nell'elaborato vengono abbreviate come ARN e ARP.

Come si può notare, il valore medio della foria per il gruppo di soggetti diventati miopi è di 1<sup>Δ</sup> di esoforia mentre per gli emmetropi è di 2<sup>Δ</sup> di exoforia. Questa differenza è statisticamente significativa (t = 2,81; p < 0,001).

Nel seguente grafico (Fig. 3) viene rappresentata la distribuzione della frequenza della foria da vicino in diottrie prismatiche (<sup>Δ</sup>).

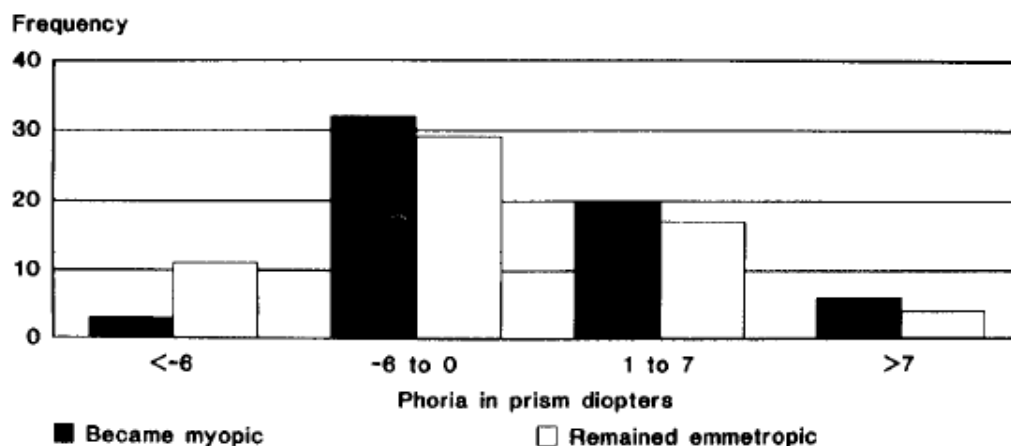


Figura 3. Distribuzione della frequenza della foria da vicino in diottrie prismatiche (<sup>Δ</sup>). Il segno negativo indica exoforia mentre quello positivo indica esoforia.

Invece, i valori medi trovati dell'ARN sono +2,39 D (DS = 0,45) per i soggetti diventati miopi e +2,49 D (DS = 0,51) per gli emmetropi, ma queste differenza non è statisticamente rilevante (t = 1,01; 0,2 < p < 0,5).



Il seguente grafico (Fig. 4) rappresenta la frequenza di distribuzione delle ARN in diottrie (D).

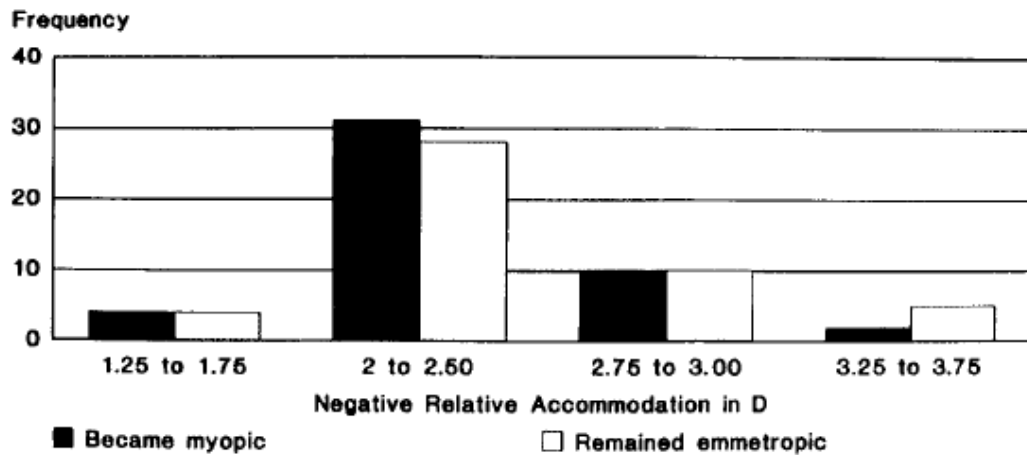


Figura 4. Distribuzione della frequenza dei valori delle ARN in diottrie (D).

Per quanto riguarda il valore medio dell'ARP per il gruppo di soggetti diventati miopi è di -2,53 D (DS = 0,98); invece, per gli emmetropi l'ARP è di -3,16 D (DS = 1,03). Anche questa differenza tra i due gruppi è statisticamente rilevante ( $t = 2,54$ ;  $p < 0,02$ ).

Nel grafico sottostante (Fig. 4) si può osservare la distribuzione della frequenza dei valori delle ARP in diottrie (D).

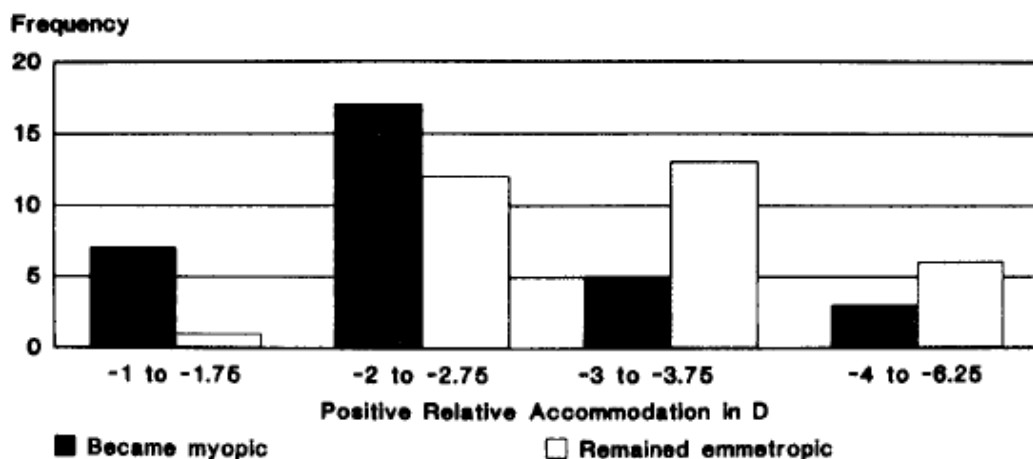


Figura 5. Distribuzione della frequenza dei valori delle ARP in diottrie (D).

Il valore medio dei cilindri crociati, infine, è +0,90 D (DS = 0,49) per i soggetti diventati miopi, mentre +0,72 D (DS = 0,50) per il gruppo degli

emmetropi. Questa differenza non raggiunge importanza statistica al livello 0,05 del t-test. ( $t = 1,80$ ;  $0,05 < 0 < 0,1$ ). Però, è presente una considerevole variabilità tra i risultati dei cilindri crociati binoculari a seconda delle località scelte.

Queste differenze sono riassunte nella seguente tabella (Tab.3).

Location	Became Myopic			Remained Emmetropic			Statistical Significance
	N	Mean	SD	N	Mean	SD	
2	28	+0.77 D	0.42	28	+0.52	0.41	$p < 0.05$
3	4	+0.63 D	0.32	4	+0.38	0.32	not significant
4	12	+1.33 D	0.47	12	+1.26	0.24	not significant
7	3	+0.75 D	0.45	3	+0.87	0.66	not significant

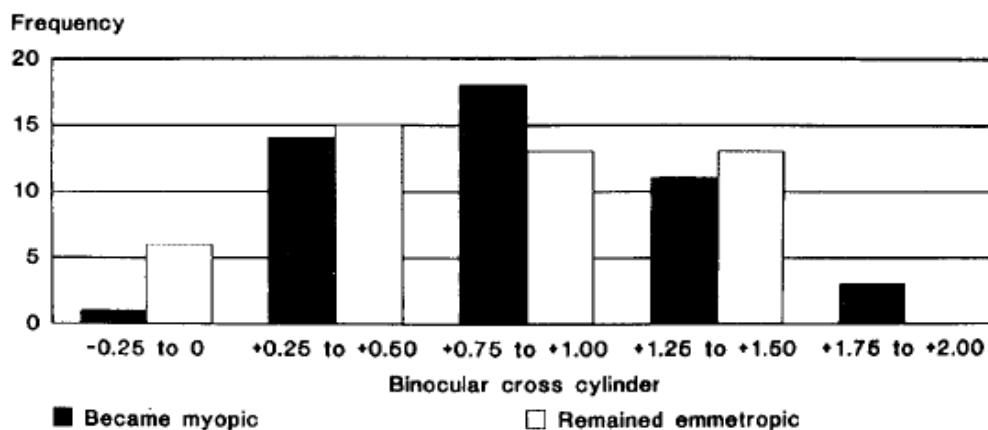
**Tabella 3. Valori medi e DS dei cilindri crociati binoculari sia per i soggetti emmetropi sia per quelli diventati miopi, separati tra le varie località scelte. L'importanza statistica delle differenze tra le medie de due gruppi è stata determinata mediante il t-test.**

I dati delle località 1,5,6 non sono validi.

Per la località 2, la differenza dei valori medi è molto rilevante; per le località 3 e 7, ci sono solo rispettivamente 4 e 3 abbinamenti; per la località 4, è presente una differenza insignificante.

Per determinare se il gruppo di una località ha influenzato i dati di un altro, ci si è avvalsi del test ANOVA, il quale ha fatto emergere l'importanza dell'effetto della località considerata ( $F = 15,94$ ;  $p < 0,001$ ).

Nella seguente tabella (Fig. 6), si può osservare la distribuzione della frequenza dei cilindri crociati binoculari.



**Figura 6. Distribuzione della frequenza dei cilindri crociati binoculari in diottrie (D).**

È evidente dalla Tab. 3 che i cilindri crociati binoculari mostrano valore maggiore nella località 4; se questi dati vengono omessi, il valore medio trovato per i soggetti diventati miopi è +0,75 D (N = 35; DS = 0,41), mentre per gli emmetropi è di +0,53 D (N = 35; DS = 0,43). In questo caso la differenza ha significatività statistica ( $t = 2,19$ ;  $p < 0,05$ ).

Nel grafico sottostante (Fig. 7) viene presentata la distribuzione della frequenza dei cilindri crociati binoculari omettendo la località 4. [16]

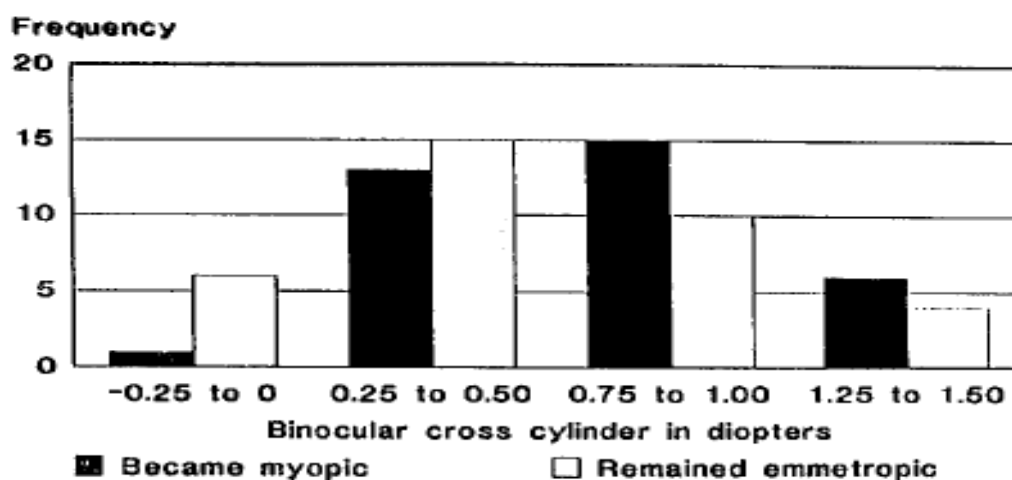


Figura 7. Distribuzione della frequenza dei cilindri crociati binoculari senza i dati relativi alla località 4.

### 2.3 Considerazioni sull'insorgenza della miopia

I risultati di questo studio supportano la teoria secondo la quale l'insorgenza della miopia nei giovani è preceduta da segnali di tipo accomodativo e/o di vergenza. Probabilmente, ciò avviene perché la mancata nitidezza dell'immagine retinica determina un segnale di feedback a livello retinico, che regola localmente la crescita del bulbo (anche se solo in parte, lo si è potuto osservare su modelli animali).

Inoltre, bisogna ricordare che il sistema visivo umano è in grado di rilevare anche piccole quantità di defocus periferico: questo è il motivo per il quale ad un bambino, che pratica molta attività prossimale e che presenta deficit

nell'accomodazione e nella vergenza, si potrebbe innescare il meccanismo di crescita bulbare.

Questo sistema lo si può interpretare anche come una ricerca della nitidezza dell'immagine retinica o grazie ad un accurata accomodazione o mediante la crescita del segmento posteriore. Tale ipotesi viene avvalorata dai cambiamenti biochimici che avvengono nella retina in seguito ad un segnale visivo alterato.

È possibile anche che una ridotta ARP nel gruppo di soggetti diventati miopi può essere secondaria all'esoforia. Questo si spiega perché, per poter mantenere nitida l'immagine dopo l'aggiunta lenti negative nel test dell'ARP, viene utilizzata la vergenza fusionale negativa (VFN); anche nel caso di esoforia viene richiesta la VFN e, di conseguenza, si associa anche una bassa ARP.

È possibile, inoltre, che anche un' elevata correzione positiva prossimale sia secondaria all'esoforia: una quantità inferiore di accomodazione potrebbe ridurre la quantità di convergenza accomodativa, la quale, a sua volta, va ad aumentare la VFN e conseguentemente ridurre la foria.

Quindi, facendo una panoramica dei risultati ottenuti, il gruppo di soggetti diventati miopi, rispetto agli emmetropi, presentano:

- esoforia o tendenza ad essa (maggiore convergenza);
- minore ARP;
- ampio lag accomodativo;
- simile valore di ARN, che sta ad indicare che i due gruppi sono in grado approssimativamente in egual modo di rilassare l'accomodazione e/o di far uso della vergenza fusionale positiva (VFP).

Quindi, la miopia che insorge in età giovanile può essere preceduta da problematiche di tipo accomodativo e/o di vergenza. [16]

Inoltre, in molti studi [22, 23] si è potuto associare alla ridotta accomodazione anche un elevato rapporto AC/A. Mutti et al. [24] suggeriscono che un elevato rapporto AC/A, trovato in bambini prima dell'insorgenza della miopia, è un dato transitorio che si riflette,

successivamente, in problematiche al cristallino e alla coroide; ciò induce uno stato di “pseudocicloplegia”. A supporto di tale teoria, i dati dello studio di Mutti mostravano un elevato AC/A in 13 bambini che diventarono miopi entro l’anno. Però, in altri studi [23], non viene considerato un dato di passaggio. Altri, invece, affermano che è molto improbabile che l’AC/A venga mantenuto ad un alto livello una volta che la miopia si è stabilizzata [22]: si pensa ad un miglioramento dell’accomodazione con la stabilità della miopia, come sostiene lo studio di Gwiazda et al. [23].

### 3. Lo studio

Lo scopo dello studio è l'analisi di una popolazione di 25 soggetti miopi, osservando la distribuzione della foria da lontano, da vicino e dell'AC/A calcolato. È stata osservata poi la correlazione tra queste variabili.

#### 3.1 Selezione dei soggetti e metodi

Il gruppo di soggetti analizzati è stato selezionato secondo i seguenti criteri:

- Soggetti miopi di qualsiasi entità corretti con occhiale con eventuale astigmatismo compreso tra le 0 e le 2,50 D;
- Soggetti con minima acuità visiva monoculare di 0,8/1,0 con correzione;
- Soggetti privi di problematiche relative alla salute oculare.

Per prima cosa, è stata valutata l'acuità visiva con la correzione in modo tale da selezionare i soggetti secondo il criterio precedentemente scelto.

In seguito, è stata stabilita la condizione eteroforica da lontano e da vicino e poi, successivamente, è stato calcolato il rapporto AC/A.

I test utilizzati vengono spiegati in seguito.

- *Acuità visiva spaziale ad alto contrasto*: per poter determinare l'acuità visiva sono stati utilizzati i simboli alfabetici, quelli di gran lunga più impiegati, presenti in un ottotipo computerizzato (CSO Vision Chart); questo strumento è costituito da uno schermo LCD ad alta definizione (1280x1024) di dimensione 19" (lungo la diagonale), con massima luminosità di 280 cd/m<sup>2</sup> e contrasto di 500:1.

Le lettere seguono la progressione LogMAR (Bailey e Lovie, 1976), la quale viene determinata dal logaritmo del minimo angolo di risoluzione (MAR). Questa scala è quella prevista dalle norme ISO.

Al soggetto viene chiesto di leggere, prima monocolarmente e poi binocularmente con la propria correzione, le lettere presentate dall'ottotipo, posto a 4 m di distanza, fino alla sua massima acuità visiva.

- *Forie da lontano e da vicino:* questi valori sono stati ottenuti impiegando il test di Thorington (Fig. 8), il quale prevede l'utilizzo ulteriore di una lente di Maddox e di una piletta. Antepoendo ad uno dei due occhi il cilindro di Maddox con gli assi orizzontali e collocando la luce della pila all'incrocio tra i due assi presenti nel test, il soggetto percepirà un punto centrale ed una linea luminosa verticale (sempre se non è presente soppressione di uno dei due occhi). Il soggetto deve informare l'esaminatore dove si trova la linea rispetto al punto luminoso. Questo test è stato effettuato a 4 m per la foria da lontano e a 0,4 m per quella da vicino. Secondo alcuni studi, questo test risulta avere una buona ripetibilità dei risultati. [25]

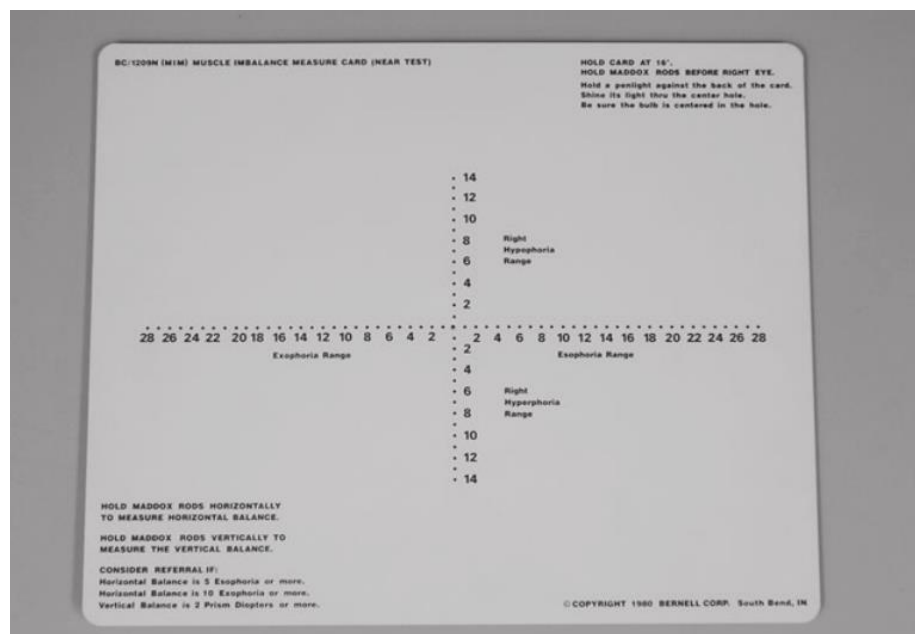


Figura 8. Test di Thorington

- *AC/A calcolato*: questo rapporto esprime la quantità di convergenza accomodativa indotta da uno stimolo accomodativo; viene ricavato modificando la distanza di osservazione e paragonando poi i due dati di foria; quindi, tale dato non viene determinato solamente dalla convergenza accomodativa ma, in minima parte, interviene anche la componente psichica (convergenza prossimale). [27]

La formula necessaria per ottenere l'AC/A calcolato è la seguente:

$$\frac{AC}{A} \text{ calcolato} = \frac{\Delta + (Fv - Fl)}{Acc}$$

dove  $\Delta$  sta per la convergenza richiesta ad una data distanza  $d$  e con una certa distanza interpupillare DIP,  $Fv$  e  $Fl$  rispettivamente per foria lontano e foria vicino e  $Acc$  per la quantità di accomodazione richiesta alla distanza  $d$ .

Ricordiamo la formula per ottenere  $\Delta$ :

$$\Delta = \frac{1}{d} \times DIP_{(cm)}$$

dove  $d$  è 0,4 m e DIP, è stata considerata 6 cm; l'unità di misura di  $\Delta$  è la diottria prismatica ( $\Delta$ ); invece, per quanto riguarda l'Acc si utilizza la seguente formula

$$Acc = 1/d$$

e viene espressa in diottrie (D).

### 3.2 Analisi statistica

I dati ottenuti dallo studio sono stati elaborati in un foglio elettronico di Excel mediante un'analisi statistica di tipo descrittivo.



Inizialmente, è stata calcolata la media delle variabili foria lontano, foria vicino e AC/A grazie all'utilizzo delle funzioni MEDIA di Excel.

Il passo successivo è stato determinate le distribuzioni delle frequenze per ogni variabile, con la funzione FREQUENZA di Excel, e sono state poi rappresentate in un istogramma.

In questi grafici è stata tracciata anche la funzione gaussiana, considerata come la curva che "descrive i dati"; questo perché, quando si effettuano molte misurazioni relative alla stessa grandezza, si avranno risultati differenti dovuti all'imprecisione dello strumento e dell'operatore. Questi errori descriveranno proprio la curva di Gauss, la quale presenta un massimo vicino al valor medio ed è più o meno ampia a seconda della dispersione (deviazione standard) dei valori attorno alla media. [28]

Per capire se e di quanto l'istogramma relativo alla distribuzione della frequenza si avvicina ad una gaussiana, è stato calcolato il chi-quadro ( $\chi^2$ ). Si tratta di un test di significatività, ovvero un test che permette di verificare se le differenze tra i dati analizzati sono dovute al caso. Questo valore è stato calcolato con la funzione TEST.CHI di Excel e riporta la probabilità dell'ipotesi zero ( $H_0$ ), cioè la probabilità con la quale le frequenze osservate si accostino ad una distribuzione normale, ovvero alla funzione gaussiana. Bisogna, però, fissare un livello di probabilità accettata denominato  $\alpha$ , che solitamente è 5%. Se il valore di chi-quadro è superiore ad  $\alpha$  allora viene accettata  $H_0$ , cioè il test è significativo, ovvero non si può escludere che ci sia un effetto significativo nelle differenze tra la frequenza e la gaussiana; se invece è inferiore, l'  $H_0$  viene rifiutata, vi è indipendenza dei risultati.

È stata analizzata, in seguito, la correlazione tra le variabili mediante il calcolo del coefficiente di correlazione lineare di Pearson ( $r$ ). Questo valore è stato ottenuto mediante la funzione CORRELAZIONE di Excel.

Il coefficiente di Pearson è un numero compreso tra -1 e 1. Tanto più il valore del coefficiente si avvicina agli estremi, tanto più la correlazione è presente in modo positivo se vicino a 1 (quando il valore di una variabile

aumenta, cresce anche quello dell'altra) o negativo se vicino a -1 (quando il valore di una variabile aumenta, quello dell'altra diminuisce).

Il valore di correlazione pari a 0 indica l'assenza di correlazione lineare ma le variabili potrebbero essere legate da un altro tipo di relazione.

Solitamente, se è presente correlazione positiva, i range del valore  $r$  sono i seguenti:

- per  $0 < r < 0,3$  la correlazione è debole;
- per  $0,3 < r < 0,7$  la correlazione è moderata;
- $r > 0,7$  la correlazione è forte.

Però, nell'ambito scientifico bisogna affermare in modo oggettivo com'è una correlazione e quindi bisogna accoppiare a tale valore un test di significatività. Il test scelto è stato il T Student, calcolato con la funzione TEST.T di Excel.

Questo test serve a fornire la probabilità con la quale l'eventuale correlazione trovata sia data al caso: fornisce quindi la probabilità dell'ipotesi  $H_0$  che sta a significare "ciò che è misurato dipende solo dal caso". Il valore  $\alpha$  preso in considerazione è sempre il 5%: nel caso in cui il t-test è maggiore di  $\alpha$  allora viene accettata  $H_0$ , cioè il test non è significativo; altrimenti, nel caso in cui il t-test sia minore di  $\alpha$  allora  $H_0$  viene rifiutata e, in questo caso, il test è statisticamente significativo.

### **3.3 Descrizione delle variabili**

La tabella con i dati ottenuti è stata riportata nella sezione "Appendice".

Il gruppo di soggetti che hanno partecipato allo studio è formato da 25 persone selezionate in modo casuale. Qui di seguito vengono presentati i grafici di distribuzione secondo l'entità dell'ametropia (Fig. 9), e secondo il grado di foria lontano (Fig. 10), foria vicino (Fig.11) e AC/A (Fig. 12).

Il primo areogramma (Fig. 9) suddivide la miopia per grado d'entità in miopia lieve (0-3 D), miopia intermedia (3-6 D) e miopia elevata (> 6D) nelle rispettive percentuali dell'88%, 12% e 0%.

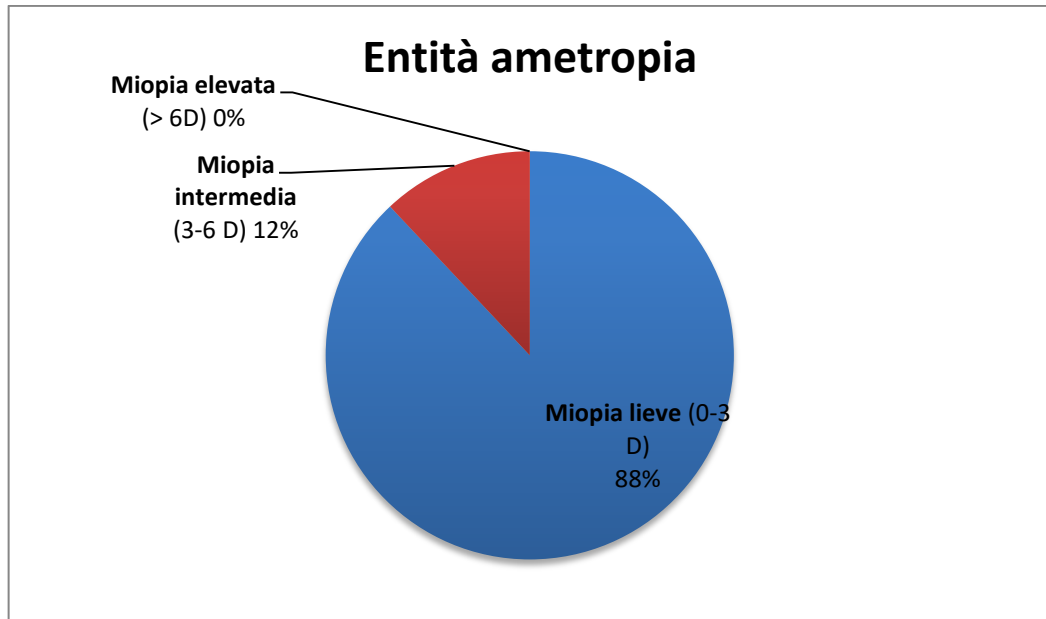


Figura 9. Areogramma relativo alla distribuzione in percentuale dell'entità della miopia.

Inoltre, per ogni variabile è stato determinata una distribuzione percentuale rispetto ad un intervallo comprendente i risultati attesi. Questo è stato riportato poi in un areogramma. Successivamente, è stata riprodotta la distribuzione di frequenza, con la relativa curva gaussiana, in un istogramma.

- *Foria da lontano*

Considerando come risultato atteso per la foria da lontano  $1^{\Delta}$  (DS=2) di exoforia (adottato da Scheiman e Wick, 2002), si possono dividere i soggetti in quattro gruppi a seconda se rientrano nell'intervallo sopra indicato ( $-3^{\Delta} < x < +1^{\Delta}$ ), dove il segno negativo indica exoforia e il segno positivo esoforia, o se sono al di sotto ( $x < -3^{\Delta}$ ) o al di sopra ma compreso tra 1 DS e 2 DS ( $+1^{\Delta} < x < +3^{\Delta}$ ), oppure al di sopra di 2 DS ( $x > +3^{\Delta}$ ). Le relative percentuali sono 64%, 16%, 16 % e 4%. Questa suddivisione viene presentata nel seguente grafico (Fig. 10).

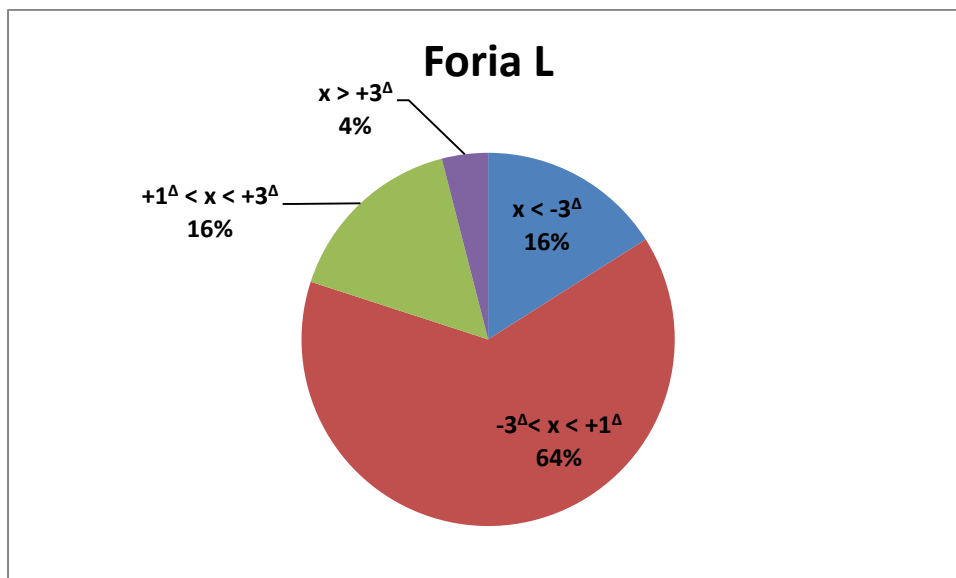


Figura 10. Areogramma relativo alla distribuzione percentuale della foria da lontano.

Il valore medio della foria da lontano è  $-0,36 \pm 0,48^{\Delta}$ .

Vediamo ora la distribuzione della frequenza con la relativa funzione gaussiana. Il grafico viene riportato qui di seguito (Fig. 11).

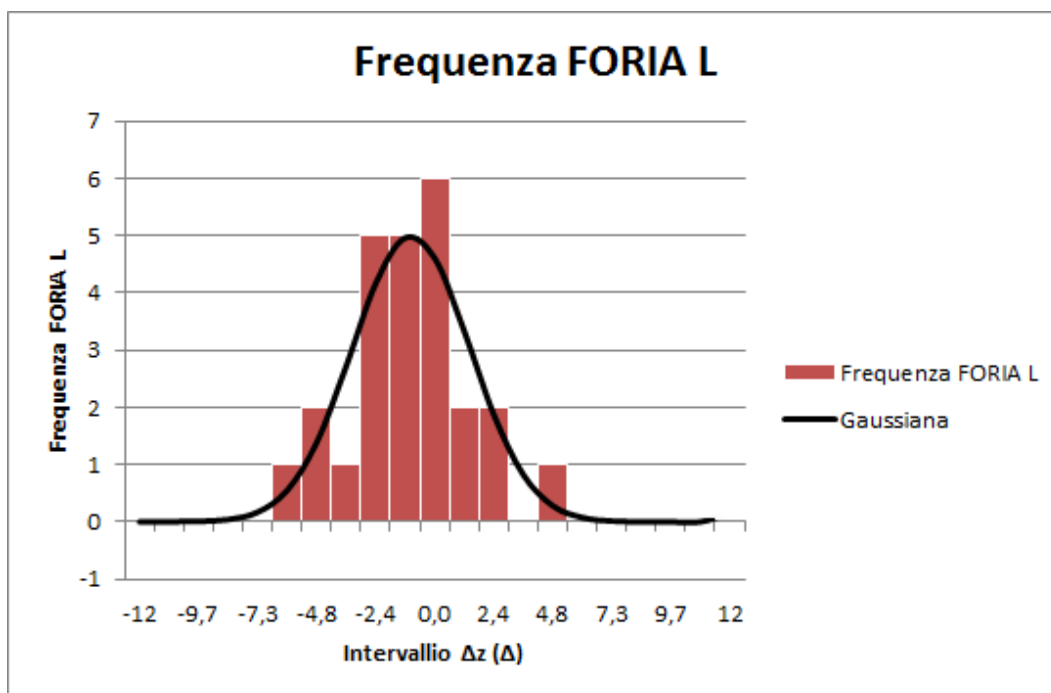


Figura 11. Istogramma relativo alla distribuzione della frequenza della foria da lontano con la corrispettiva funzione gaussiana.

Il test del chi-quadro, per quanto riguarda la foria da lontano, è risultato 99,9% e quindi, essendo maggiore di  $\alpha$ , è un dato statisticamente significativo. Riassumendo, la distribuzione di frequenza segue un andamento gaussiano con una probabilità del 99,9%.

- *Foria da vicino*

Per quanto riguarda la foria da vicino, il valore atteso è  $3^{\Delta}$  (DS=3) di exoforia (adottato da Scheiman e Wick, 2002). La percentuale di questo intervallo ( $-6^{\Delta} < x < 0^{\Delta}$ ) è 40%, al di sotto ( $x < -6^{\Delta}$ ) è 8%, al di sopra ma compresi tra 1 DS e 2 DS ( $0^{\Delta} < x < +3^{\Delta}$ ) è 24% e, infine, maggiore di 2 DS ( $x > +3^{\Delta}$ ) è 28%. Tali dati sono raccolti nel seguente areogramma (Fig. 12).

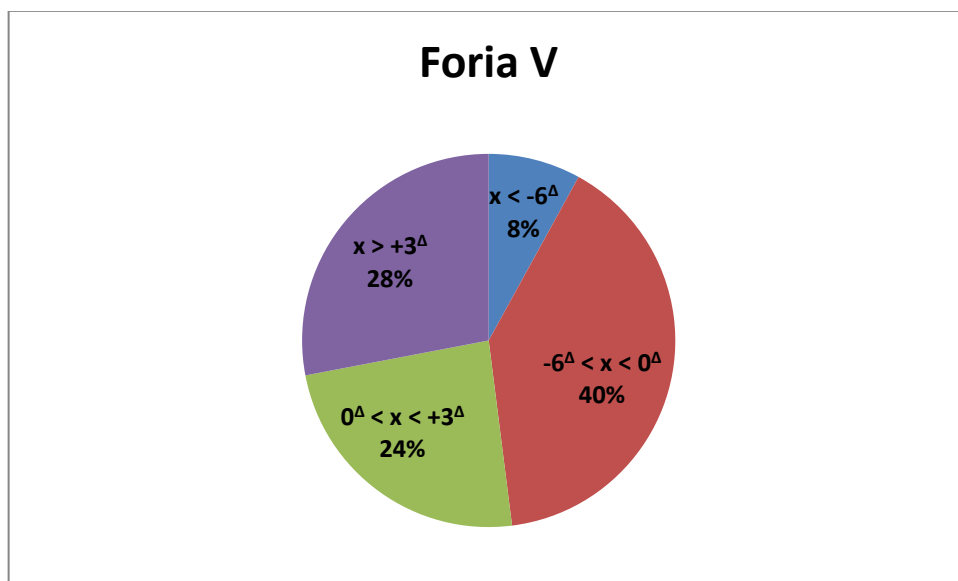


Figura 12. Areogramma relativo alla distribuzione percentuale della foria da vicino.

Il valore medio della foria da vicino è  $-0,18 \pm 1,22^{\Delta}$ .

Viene riportata nel seguente istogramma (Fig. 13) la distribuzione della frequenza relativa alla foria da vicino, con la relativa funzione gaussiana.

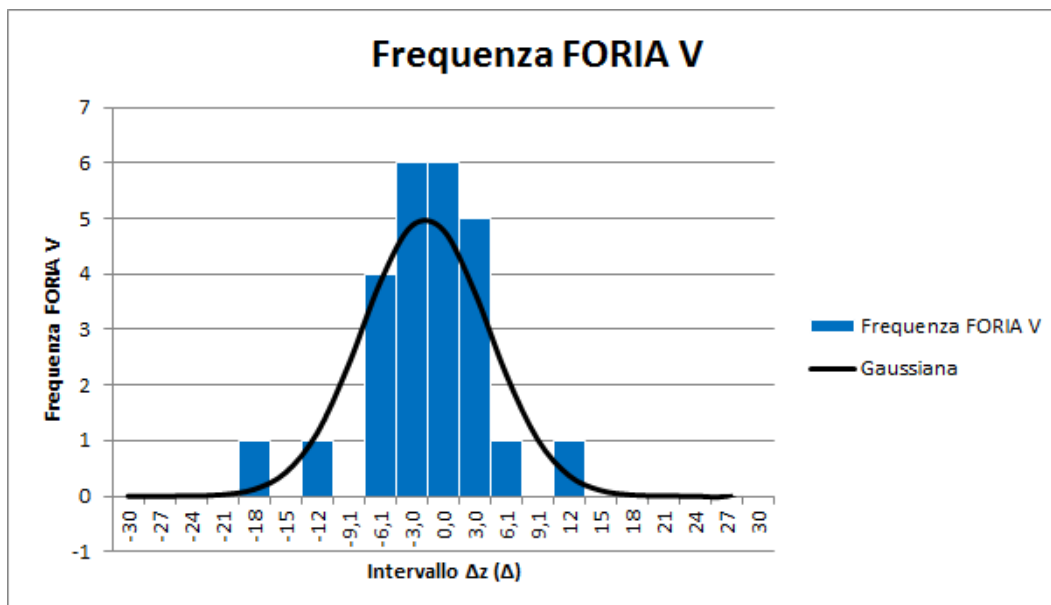


Figura 13. Istogramma relativo alla distribuzione di frequenza della foria da vicino, con la corrispettiva funzione gaussiana.

In questo caso, la probabilità che la distribuzione di frequenza della foria da vicino segua un andamento gaussiano è dell'86,8% ed, essendo maggiore di  $\alpha$ , è un dato statisticamente significativo.

- *AC/A calcolato*

Il rapporto AC/A calcolato è stato suddiviso secondo gli intervalli dell'AC/A gradiente, il quale valuta solamente la componente della vergenza, in quanto la distanza di fissazione viene mantenuta costante. Solitamente il valore dell'AC/A calcolato ha valori leggermente superiori a quello del gradiente. [23]

Quindi, il risultato atteso considerato è  $4/1 \Delta/D$  (DS=2) (Scheiman e Wick, 2002).

La percentuale di tale intervallo ( $2/1 \Delta/D < x < 6/1 \Delta/D$ ) è 44% mentre al di sotto di esso ( $x < 2/1 \Delta/D$ ) la percentuale risulta 8%, al di sopra ma compreso tra 1 DS e 2 DS ( $6/1 \Delta/D < x < 8/1 \Delta/D$ ) è 36% e, infine, al di sopra di 2 DS ( $x > 8/1 \Delta/D$ ) è 12%.

La distribuzione percentuale dei valori dell'AC/A calcolato viene rappresentata nel prossimo grafico (Fig. 14).

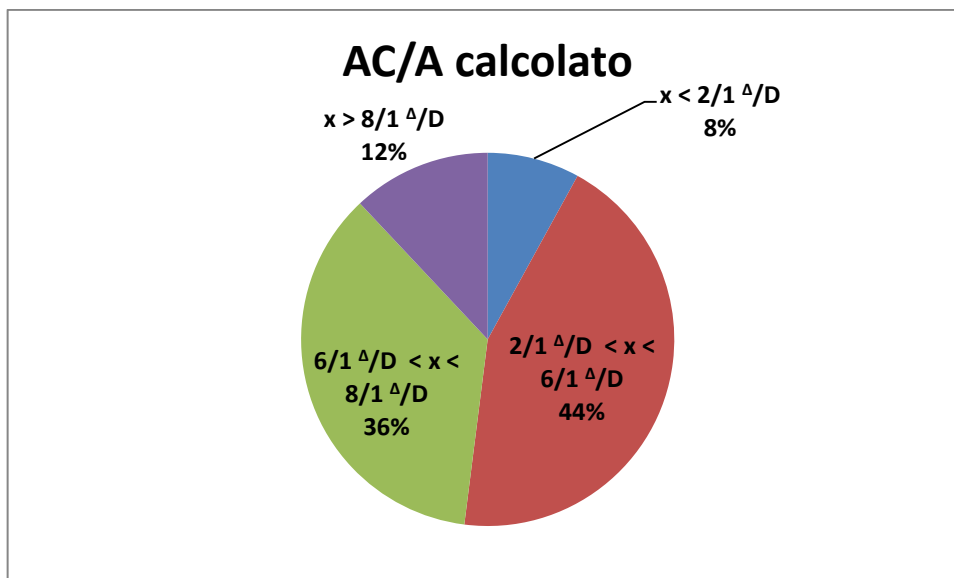


Figura 14. Areogramma relativo alla distribuzione percentuale dell'AC/A calcolato.

Il valore medio dell'AC/A calcolato è  $6,1/1 \pm 0,4 \Delta/D$ .

Viene riportata nel seguente istogramma (Fig. 15) la distribuzione della frequenza dell'AC/A calcolato con la relativa funzione gaussiana.

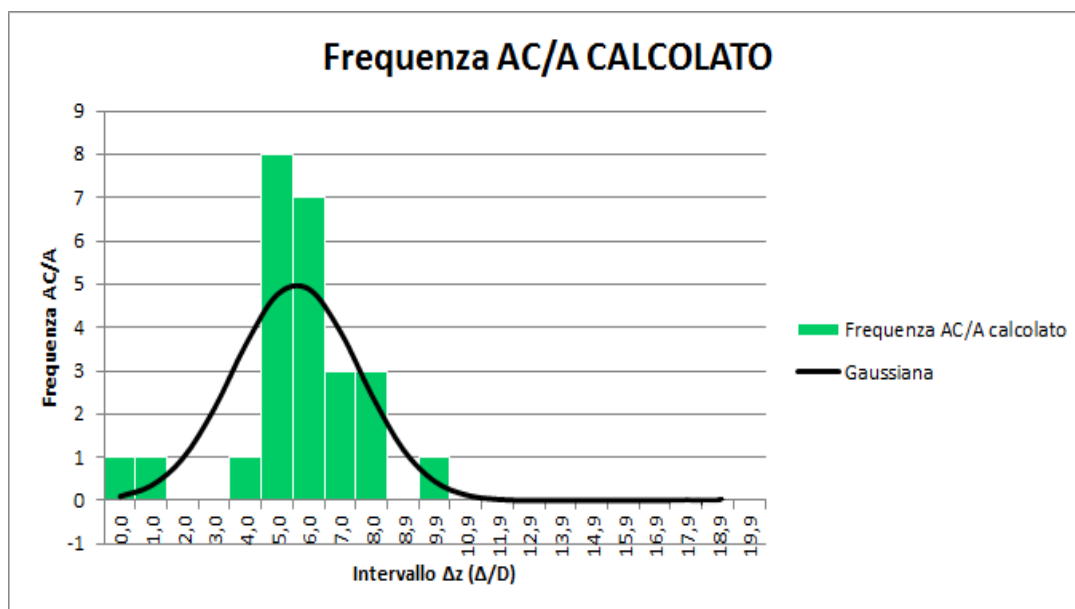


Figura 15. Istogramma relativo alla distribuzione di frequenza dell'AC/A calcolato, con la corrispettiva funzione gaussiana.

La probabilità con la quale la distribuzione di frequenza dell'AC/A calcolato si accosti ad una funzione gaussiana è del 41,2% ed, essendo maggiore di  $\alpha$ , è un dato statisticamente significativo.



## 4. Conclusione

### 4.1 Risultati

Per giungere ai risultati sono stati effettuati dei grafici di correlazione tra le variabili considerate (Fig. 16, Fig. 17, Fig. 18).

Viene riportato in seguito il grafico di correlazione tra la foria da lontano e quella da vicino (Fig. 16).

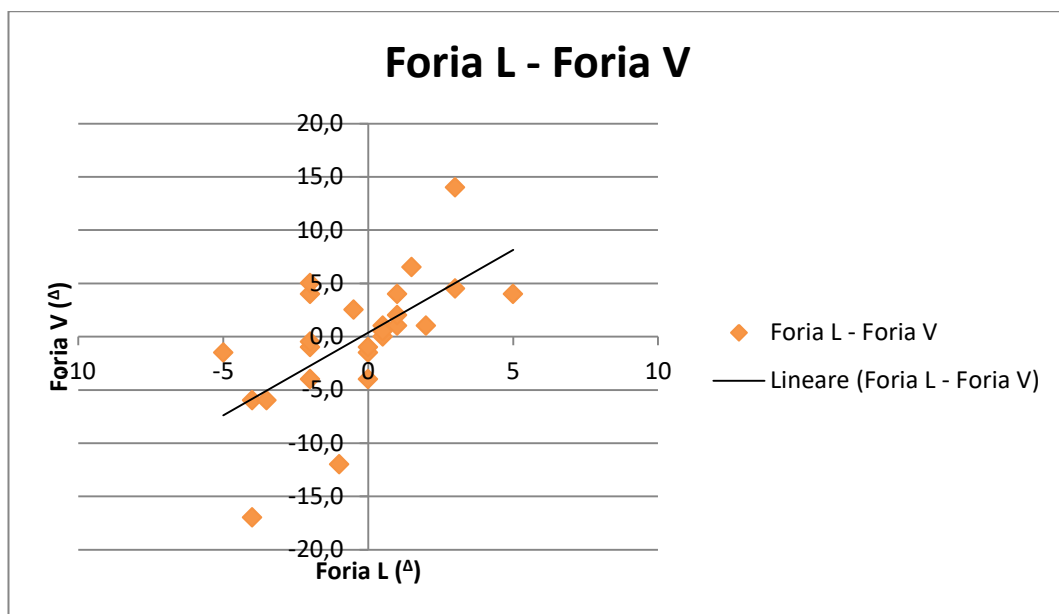


Figura 16. Grafico di correlazione tra la foria da lontano e quella da vicino.

Il coefficiente di correlazione tra foria da lontano e foria da vicini è  $0,62 \pm 0,16$  e sta ad indicare che c'è una correlazione moderata tra le due variabili, però questa relazione viene smentita dal test della T Student che risulta 0,89, molto maggiore di  $\alpha$ . Quindi non è presente correlazione tra la foria da lontano e quella da vicino in quanto il valore della significatività non è statisticamente significativo.

Nel seguente grafico (Fig. 17) viene riportata la correlazione tra foria lontano e AC/A calcolato.

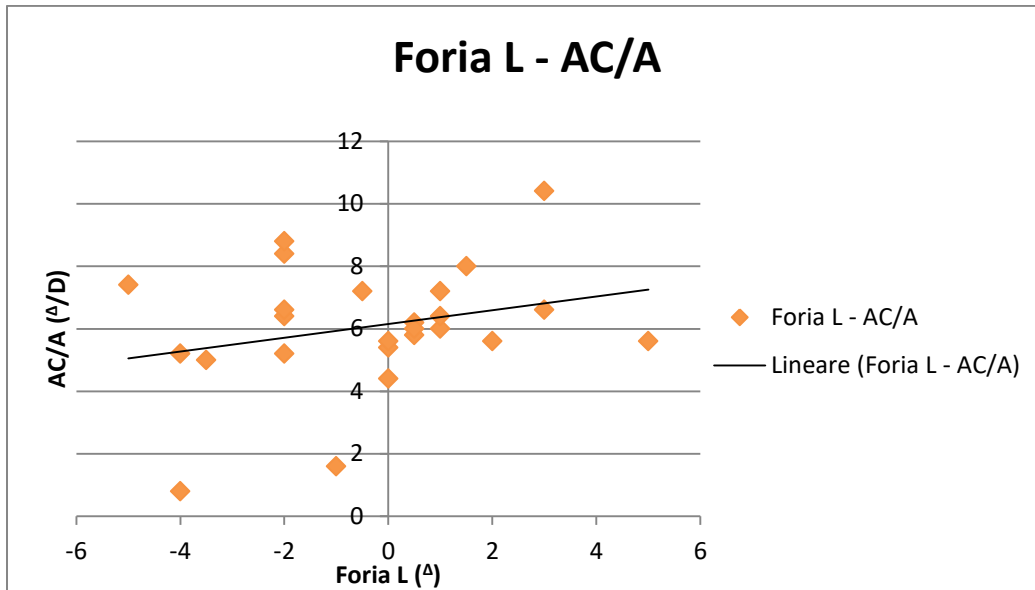


Figura 17. Grafico di correlazione tra la foria da lontano e il rapporto AC/A calcolato.

Osservando il coefficiente di correlazione tra foria lontano e AC/A, che risulta  $0,27 \pm 0,20$ , si può dire che tra queste due variabili la correlazione è debole. Però, tale valore è molto significativo in quanto la T Student risulta  $1,6 \cdot 10^{-13}$ . Quindi è presente una correlazione statisticamente significativa tra foria da lontano e AC/A calcolato.

Infine, la correlazione tra foria vicino e AC/A calcolato viene riportata nel grafico successivo (Fig. 18).

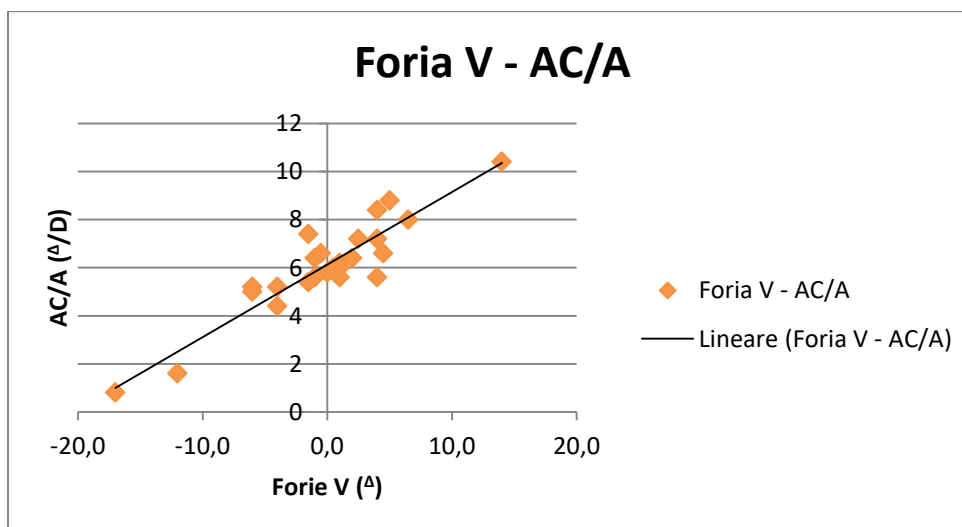


Figura 18. Grafico di correlazione tra la foria da vicino e l'AC/A calcolato.

Infine, il coefficiente di correlazione tra foria da vicino e AC/A calcolato risulta  $0,92 \pm 0,08$ , indicando un'ottima correlazione tra le due variabili. Questo valore, inoltre, è statisticamente significativo in quanto la T Student risulta  $3,5 \cdot 10^{-5}$ .

Tra i soggetti analizzati, è stata valutata la percentuale con la quale si verificano quei casi con foria da vicino elevata ( $x > 0^{\Delta}$ ) e AC/A calcolato alto ( $x > 6/1^{\Delta}/D$ ) e risulta essere 36%.

## 4.2 Discussione

L'analisi statistica è incentrata sulla descrizione di una popolazione di 25 miopi presi casualmente, dei quali è stata osservata la foria da lontano, quella da vicino e calcolato in seguito il rapporto AC/A.

Quanto appena esposto si basa sullo studio di Goss, il quale analizza la condizione accomodativa ed eteroforica prima dell'insorgenza della miopia; in particolare, viene affermato che i soggetti diventati miopi nel corso dello studio hanno presentato esoforia da vicino o tendenza ad essa, maggiore ARP e ampio lag accomodativo rispetto ai soggetti rimasti emmetropi.

Un altro elemento importante, preso in considerazione in altri studi che hanno analizzato l'insorgenza della miopia, è il rapporto AC/A, il quale è risultato più alto nei soggetti miopi fino alla stabilizzazione del difetto refrattivo.

Importanti sono i risultati ottenuti in questo studio grazie al test del chi-quadro, il quale conferma che la probabilità con la quale la distribuzione di frequenza di ogni variabile segue un andamento gaussiano, è statisticamente significativa. Spicca maggiormente la distribuzione di frequenza della foria da lontano. Invece, seppur statisticamente significativa, la percentuale del chi-quadro relativa alla foria da vicino è minore: si potrebbe pensare ad utilizzare un altro tipo di test per le forie,

verificando se la percentuale della distribuzione della foria da vicino aumenta.

Per quanto riguarda la distribuzione del rapporto AC/A ci si poteva aspettare una probabilità più bassa rispetto alle altre in quanto è un valore determinato mediante i calcoli e quindi possono subentrare numerosi errori di approssimazione. A questo si potrebbe rimediare determinando l'AC/A gradiente, il quale viene determinato mediante il relativo test optometrico.

Analizzando in seguito le correlazioni tra le variabili, spicca, grazie al test della significatività, una elevata correlazione tra la foria da vicino e il rapporto AC/A. Questo conferma l'ipotesi iniziale, in quanto all'aumentare della foria da vicino (esoforia o tendenza ad essa) aumenta anche l'AC/A. Diversamente, invece, accade per le altre due correlazioni: tra la foria da lontano e l'AC/A è presente una debole correlazione ma statisticamente significativa mentre, per quanto riguarda la correlazione tra foria da lontano e quella da vicino, non risulta essere statisticamente significativa. Inoltre, è stato rilevato che il 36% della popolazione analizzata presenta sia foria da vicino che AC/A elevati, elementi, come spiegato in precedenza, che potrebbero far pensare ad un avanzamento della miopia. Questi soggetti sarebbero quelli da monitorare per poter verificare un ipotetico decorso della miopia, sempre secondo gli studi analizzati in precedenza.

Se presente un avanzamento dell'errore refrattivo, si dovrebbe prendere in considerazione una delle strategie per evitare la progressione.

## Appendice

	Refrazione	Foria L ( $\Delta$ )	Foria V ( $\Delta$ )	AC/A calcolato ( $\Delta/D$ )
1	OD sf -1,00 cyl -0,25 ax 160 OS sf -0,75 cyl -0,25 ax 10	0,5	1,0	6,2
2	OD sf -1,00 cyl -0,50 ax 135 OS sf -1,25 cyl -1,75 ax 75	2,0	1,0	5,6
3	OD sf -1,25 OS sf -2,00 cyl -0,25 ax 5	-4,0	-6,0	5,2
4	OD sf -1,00 OS sf -1,25	-4,0	-17	0,8
5	OD sf -1,00 OS sf -0,50	-3,5	-6,0	5,0
6	OD sf -3,50 OS sf -2,50	0,0	-1,5	5,4
7	OD sf -1,25 cyl -0,25 ax 180 OS sf -1,50 cyl -0,25 ax 180	0,5	0,0	5,8
8	OD sf -2,00 cyl -1,00 ax 175 OS sf -1,00 cyl -1,00 ax 165	3,0	4,5	6,6
9	OD sf -1,50 cyl -0,50 ax 185 OS sf -1,50 cyl -0,25 ax 135	0,0	-1,0	5,6
10	OD sf -3,00 OS sf -3,00	1,0	1,0	6,0
11	OD sf -3,00 cyl -0,25 ax 100 OS sf -3,00	0,0	-4,0	4,4
12	OD sf -2,25 OS sf -2,75	0,5	0,5	6,0
13	OD sf -2,25 OS sf -2,00	-2,0	-1,0	6,4
14	OD sf -3,25 cyl -1,00 ax 150 OS sf -3,50 cyl -0,25 ax 65	-1,0	-12,0	1,6
15	OD sf -2,00 cyl -0,50 ax 95 OS sf -2,00 cyl -0,50 ax 100	3,0	14	10,4

16	OD sf -1,00 cyl -1,50 ax 5 OS sf -1,25 cyl -0,75 ax 155	5,0	4,0	5,6
17	OD sf -1,75 OS sf -1,75	-2,0	-4,0	5,2
18	OD sf -1,25 cyl -0,50 a 145 OS sf -1,00	-2,0	-0,5	6,6
19	OD sf -2,25 OS -2,50	-5,0	-1,5	7,4
20	OD sf -1,00 OS -1,00	-2,0	4,0	8,4
21	OD sf -2,75 cyl -0,25 ax 150 OS sf -3,50 cyl -0,50 ax 180	1,0	4,0	7,2
22	OD sf -0,75 cyl -0,50 ax 105 OS sf -0,50	-2	5,0	8,8
23	OD sf -2,50 OS sf -2,50	1,0	2,0	6,4
24	OD sf -1,25 cyl -1,00 ax 95 OS sf -1,50	1,5	6,5	8,0
25	OD sf -0,75 OS sf -1,00	-0,5	2,5	7,2

**Tabella 4. Dati relativi alla studio comprendenti foria da lontano, foria da vicino e AC/A calcolato.**

## Bibliografia

- [1] T. Fricke, B. Holden, D. Wilson, G. Schlenker, K. Naidoo e S. Resnikoff, “*Global cost of correcting vision impairment from uncorrected refractive error*”, Bull world Health Organ, 2012, vol. 90, pp. 728-738.
- [2] J. Kempen, P. Mitchell e K. Lee, “*The prevalence of refractive errors among adult in the United States, Western Europe and Australia*”, Arch Ophthalmol, 2004, pp. 495-505.
- [3] C. Lam et al., “*Prevalence of myopia among Hong Kong Chinese schoolchildren: changes over two decades*”, Ophthalmol. Physiol. Opt., 2012, vol. 32, pp. 17-24.
- [4] F. Zeri, A. Rossetti, A. Fossetti, A. Calossi, “*Ottica visuale*”, Roma, Società Editrice Universo, 2012, p. 145.
- [5] A. Rossetti, P. Gheller, “*Manuale di optometria e contattologia*”, Bologna, Zanichelli, 2003, II edizione, pp. 23-28.
- [6] S. Saw, G. Gazzard, E. Shih-Yen, W. Chua, “*Myopia and associated pathological complications*”, Ophthalm. Physiol. Opt., 2005, vol. 25, pp. 381-391.
- [7] J. Ip, S. Huynh, D. Robaei et al. “*Ethnic differences in the impact of parental myopia: findings from a population-based study of 12-year-old Australian children*”, Invest Ophthalmol. Vis. Sci., 2007, vol. 48, pag. 2520-2528.
- [8] D. Ramamurthy, S. Lin Chua, S. Saw, “*A review of environmental risk factors for myopia during early life, childhood and adolescence*”, Clin. Exp. Optom., 2015, vol. 98, pp. 497-506.

[9] Mutti et al., *“Myopia – Yesterday, Today, and Tomorrow”*, Optometry and Vision Science, 2013, vol. 90, pp. 1161-1164.

[10] E. Smith, M. Campbell, E. Irving, *“Does peripheral retinal input explain the promising myopia control effects of corneal reshaping therapy (CRT or ortho-K) & multifocal soft contact lenses?”*, Ophthalmic & Physiological Optics, 2013, vol. 33, pp. 379-384.

[11] F. Donders, *“On the anomalies of accommodation and refraction of the eye”*, New Sydenham Society, 1864.

[12] T. Kelly, C. Chatfield, C. Tustin, *“Clinical assessment of the arrest of myopia”*, British Journal of Ophthalmology, 1975, vol. 59, pp. 529-538.

[13] F. Young, *“The development and control of myopia in human and subhuman primates”*, Contacto, 1975, vol.19, pp 16-31.

[14] P. Greene, *“Mechanical consideration in myopia: relative effects of accommodation, convergence, intraocular pressure, and extraocular muscles”*, American Journal of Optometry, 1980, vol. 57, pp. 902-14.

[15] A. Rossetti, P. Gheller, *“Manuale di optometria e contattologia”*, Bologna, Zanichelli, 2003, II edizione, pp. 321-322.

[16] D. Goss, *“Clinical accommodation and heterophoria findings preceding juvenile onset of myopia”*, Optometry and Vision Science, 1991, vol. 68, No. 2, pp. 110-116.

[17] E. Smith, *“Optical treatment strategies to slow myopia progression: effects of the visual extent of the optical treatment zone”*, Experimental Eye Research, 2013, vol. 144, pp. 77-88.



- [18] J. Walline, K. Lindsley, S. Vedula, S. Cotter, D. Mutti, J. Twelker, “*Interventions to slow progression of myopia in children*”, *Cochrane Database Syst. Rev.*, 2011.
- [19] J. Walline, L. Jonas, L. Sinnott, R. Mannay, A. Gaume, M. Rah, M. Chitkara and S. Lyons on behalf of the ACHIEVE study group, “*A randomized trial of the effects of soft contact lenses on myopia progression in children*”, *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2008, vol. 49, No. 11.
- [20] G. Fulk, L. Cyert, D. Parker, R. West, “*The effect of changing from glasses to soft contact lenses on myopia progression in adolescents*”, *Ophtal. Physiol. Opt.*, 2003, vol. 23, pp. 70-1.
- [21] J. Walline, K. Greiner, M. McVey e L. Jones-Jordan, “*Multifocal Contact Lens Myopia Control*”, *Optom. Vis. Sci.*, 2013, vol. 90, pp. 1207-1214.
- [22] J. Gwiazda, K. Grice, F. Thorn, “*Response AC/A ratios are elevated in myopic children*”, *Ophtal. Physiol. Opt.*, 1999, vol. 19, pp. 173-179.
- [23] J. Gwiazda, F. Thorn, R. Held, “*Accomodation , accommodation convergence, and response AC/A ratio before and at the onset of myopia in children*”, *Optom. Vis. Sci.*, 2005, vol. 82, pp. 273-278.
- [24] D. Mutti, L. Jones, M. Moeschberg, K. Zadnik, “*AC/A ratio, age, and refractive error in children*”, *Invest Ophthalmol. Vis. Sci.*, 2000, vol. 41, pp. 2496-2478.
- [25] A. Rossetti, P. Gheller, “*Manuale di optometria e contattologia*”, Bologna, Zanichelli, 2003, II edizione, pp. 131-135.

[26] J. Cebrian, B. Antona, A. Barrio, E. Gonzales, A. Gutierrez, I. Sanchez, "*Repeatability of the modified Thorington card used to measure far heteroforia*", *Opt. Vis. Sci.*, 2014, vol. 91, pp. 786-792.

[27] A. Rossetti, P. Gheller, "*Manuale di optometria e contattologia*", Bologna, Zanichelli, 2003, II edizione, pp.166-167.

[28] P. Loreti, C. Pucci, "*Dispensa sulla funzione gaussiana*", Università di Roma "La Sapienza", A.A. 2011-2012.