

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Fisica e Astronomia “Galileo Galilei”

Corso di Laurea in Ottica e Optometria

TESI DI LAUREA

Il profilo visivo del giovane miope

Relatore: Prof. Formenti Marino

Laureanda: Facco Lisa

Matricola: 1149114

A.A. 2018-2019

Indice

Abstract.....	1
CAPITOLO 1: La miopia.....	2
1.1 Definizione e classificazione	2
1.2 Prevalenza e incidenza.....	4
1.3 Eziologia.....	7
1.3.1 Fattori genetici.....	7
1.3.2 Fattori ambientali.....	8
CAPITOLO 2: Emmetropizzazione e progressione miopica.....	11
2.1 Il controllo della progressione miopica.....	12
CAPITOLO 3: Visione binoculare e miopia.....	13
3.1 Lo stato eteroforico.....	14
3.2 Le vergenze fusionali.....	17
3.3 Il rapporto AC/A.....	21
CAPITOLO 4: Accomodazione e miopia.....	24
4.1 LAG accomodativo.....	24
4.2 Accomodazioni relative.....	27
4.3 Flessibilità accomodativa.....	30
Proposta di analisi visiva nel soggetto miope.....	32
Conclusioni.....	36
Bibliografia e Sitografia.....	37

Abstract

La miopia è il vizio di refrazione più comune e diffuso a livello mondiale. La miopia elevata può essere causa di complicanze di gravità tale da poter provocare una perdita importante e irreversibile della vista; alcune di queste problematiche sono il glaucoma, il distacco di retina, la retinopatia e la cataratta se non curata (come accade nei paesi più poveri e meno sviluppati).

Numerosi studi hanno e stanno dimostrando che a causa di fattori genetici (in minor parte) e ambientali, a volte correlati tra loro ⁽¹⁾, questo difetto visivo è sempre più in aumento, sia per la quantità di insorgenza che per l'entità (progressione miopica).

Dagli studi sugli animali di E. L. Smith ⁽²⁾ è stato evidenziato inoltre il ruolo che il defocus ipermetropico periferico su un occhio miope corretto può esercitare nello sviluppo di miopia assiale; questo però non costituisce l'unico fattore eziologico del vizio refrattivo.

Si è dimostrato che anche problematiche di natura binoculare e accomodativa possono contribuire all'instaurarsi e al progredire della miopia. Tra questi vanno sottolineati ad esempio l'eccesso accomodativo, che può sfociare nella pseudomiopia, l'insufficienza accomodativa e l'eccesso di convergenza (questi ultimi due possono essere collegati tra loro nel caso di un importante impegno visivo prossimale).

È sempre più importante quindi saper riconoscere e individuare sintomi e segni, utilizzando test che siano in grado di mettere in evidenza questi campanelli d'allarme dando la possibilità di intervenire il prima possibile e nel modo più efficace al fine di impedire o controllare lo sviluppo di una disfunzione visiva che potrebbe concludersi con l'instaurarsi di una miopia vera e propria.

CAPITOLO 1: La miopia

1.1 Definizione e classificazione

La miopia (derivazione dal gr. *myōps*, miope, composto da *mýo* “chiudersi” e *ops* “occhio” ⁽³⁾) è una condizione refrattiva per cui i raggi paralleli provenienti da un punto oggetto situato all’infinito ottico convergono in un punto anteriore alla retina: il piano focale dell’immagine dato dal sistema oculare si trova prima del “piano” anatomico della retina.

Ciò causa, a differenza dell’occhio emmetrope, la formazione di un’immagine retinica sfuocata per oggetti posti a grande distanza (Fig. 1 e 2).

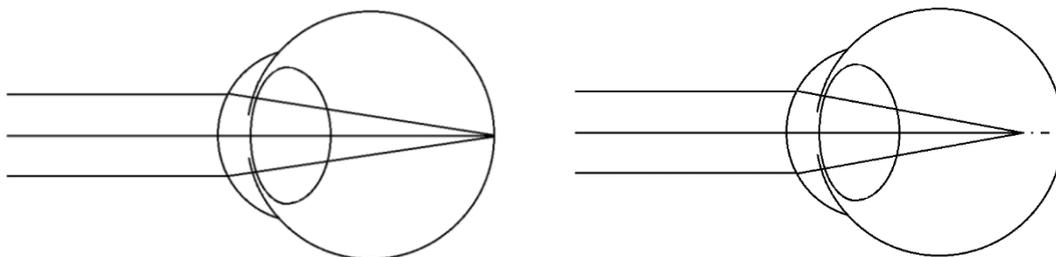


Figura 1 (a sinistra) rappresentazione di un occhio emmetrope: i raggi provenienti dall’infinito ottico sono a fuoco sulla retina.

Figura 2 (a destra) rappresentazione di un occhio miope: i raggi provenienti dall’infinito ottico sono a fuoco prima della retina.

Quindi tra i sintomi vi è sicuramente una visione sfuocata nel lontano (ridotta acuità visiva), mentre è più rara l’astenopia nel lavoro da vicino. Tra i segni ci sono invece una distanza di lettura ridotta rispetto a un soggetto emmetrope, che dipende anche dall’entità del difetto, e la tendenza a socchiudere gli occhi nell’osservazione a distanza. ⁽⁴⁾

Esistono diverse modalità di classificazione della miopia; le più diffuse la diversificano a seconda della causa refrattiva, dell’entità, e dell’età di insorgenza. Quest’ametropia può essere di natura:

- Assiale: la più frequente, è data da una lunghezza eccessiva del bulbo oculare (norma: 22 – 25 mm). Le cause di questa alterazione non sono ancora chiare, ma contribuiscono l’accomodazione e condizioni di lavoro ristrette.

- Refrattiva: aumento del potere refrattivo dell'occhio in presenza di una lunghezza del bulbo normale. Questo può essere causato da:
 - *Curvatura* eccessiva della cornea e/o del cristallino;
 - *Indice* di rifrazione aumentato (es.: cataratta nucleare);
 - *Posizione* del cristallino (spostato verso la cornea);
 - *Accomodazione*;
 - Di tipo *lenticolare*: indotta dal cristallino ma non accomodativa.

In base all'entità, la miopia viene classificata in:

- Lieve o “fisiologica” ($\leq 3,00$ D). Inizio tardivo e valori di dimensioni del bulbo nella norma.
- Intermedia (3,00 D – 5,00 D). Modeste variazioni del bulbo e lievi alterazioni del fondo.
- Elevata ($\geq 5,00$ D). Può sfociare nel patologico con variazioni importanti (lunghezza del bulbo ≥ 26 mm) e alterazioni retiniche. ⁽⁵⁾⁽⁶⁾

L'età di insorgenza la suddivide invece in precoce (early-onset), se inizia nella preadolescenza o prima dei 16 anni, e tardiva (late-onset), se si sviluppa dopo i 16 anni. Esiste anche la miopia congenita, più rara, già presente prima della nascita o che si manifesta nella prima infanzia. ⁽⁴⁾

Esistono inoltre delle forme anomale di miopia, solitamente temporanee ma importanti da riconoscere al fine di non provocare danni al soggetto. Esse sono:

- Pseudomiopia. Comune nei giovani, è indotta dall'accomodazione: un lavoro prolungato a distanza prossimale può causare uno spasmo ciliare, quindi un'ipertonicità del muscolo ciliare che permane anche quando l'accomodazione dovrebbe essere rilassata, ovvero nella visione a distanza.
- Miopia notturna e da stimolo inadeguato. Presente in tutti i soggetti, si manifesta in condizioni di illuminazione ridotta e ha un'entità simile al valore dell'accomodazione tonica (1 D circa ⁽⁷⁾). Può essere causata da diversi fattori, come l'assenza di un punto preciso su cui posizionare l'accomodazione.
- Miopia secondaria e per cause patologiche. Esempi di cause patologiche che causano uno shift miopico sono il cheratocono e la cataratta iniziale. ⁽⁴⁾

1.2 Prevalenza e Incidenza

La miopia è il vizio di refrazione più diffuso al mondo. Una revisione sistematica del 2017 ⁽⁸⁾ ha stimato i trend di miopia nel periodo compreso tra il 2000 e il 2050, utilizzando dati rilevati a partire dal 1995 e considerando un totale 145 studi e 2,1 milioni di partecipanti. Da ciò si è ricavato che la popolazione globale con miopia corrispondeva al 22,9% del totale nel 2000 e al 28,3% nel 2010, mentre la sua prevalenza si calcola salirà fino al 49,8% nel 2050 (Fig. 3).

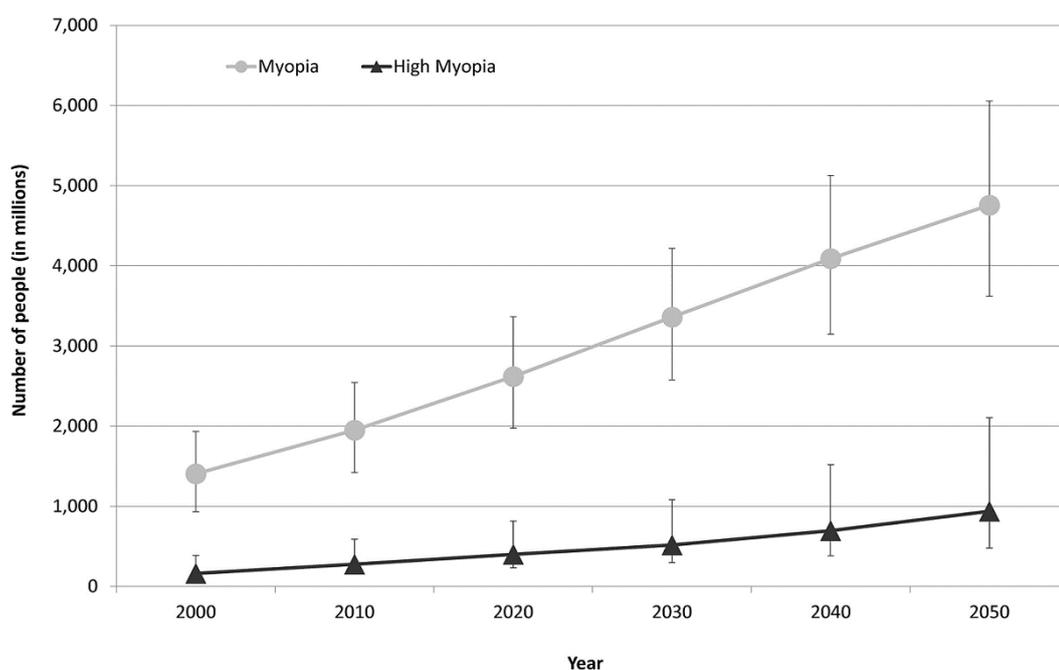


Figura 3: il grafico rappresenta una stima del numero di persone con miopia e alta miopia per ogni decennio dal 2000 al 2050 ⁽⁸⁾

È inoltre stimato un aumento della miopia elevata (dal 2,7% del 2000 al 9,8% nel 2050) con conseguenti effetti sulla pianificazione dei servizi, la prevenzione e gestione di complicanze oculari e della perdita della vista associate, oltre a implicazioni economiche (costi sempre più elevati dati dalle conseguenze di difetti refrattivi non corretti).

Altri studi e dati hanno provato che la distribuzione degli errori refrattivi non è omogenea: la prevalenza della miopia varia in base all'etnia, alla localizzazione geografica (Tab. I), all'età e al sesso (dalle statistiche sembra essere maggiore nelle femmine rispetto ai maschi nello stesso gruppo di appartenenza).

Region	Prevalence (%) in Each Decade					
	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Andean Latin America	15.2	20.5	28.1	36.2	44.0	50.7
Asia-Pacific (high income)	46.1	48.8	53.4	58.0	62.5	66.4
Australasia	19.7	27.3	36.0	43.8	50.2	55.1
Caribbean	15.7	21.0	29.0	37.4	45.0	51.7
Central Africa	5.1	7.0	9.8	14.1	20.4	27.9
Central Asia	11.2	17.0	24.3	32.9	41.1	47.4
Central Europe	20.5	27.1	34.6	41.8	48.9	54.1
Central Latin America	22.1	27.3	34.2	41.6	48.9	54.9
East Africa	3.2	4.9	8.4	12.3	17.1	22.7
East Asia	38.8	47.0	51.6	56.9	61.4	65.3
Eastern Europe	18.0	25.0	32.2	38.9	45.9	50.4
North Africa and Middle East	14.6	23.3	30.5	38.8	46.3	52.2
North America, high income	28.3	34.5	42.1	48.5	54.0	58.4
Oceania	5.0	6.7	9.1	12.5	17.4	23.8
South Asia	14.4	20.2	28.6	38.0	46.2	53.0
Southeast Asia	33.8	39.3	46.1	52.4	57.6	62.0
Southern Africa	5.1	8.0	12.1	17.5	23.4	30.2
Southern Latin America	15.6	22.9	32.4	40.7	47.7	53.4
Tropical Latin America	14.5	20.1	27.7	35.9	43.9	50.7
West Africa	5.2	7.0	9.6	13.6	19.7	26.8
Western Europe	21.9	28.5	36.7	44.5	51.0	56.2
Global	22.9	28.3	33.9	39.9	45.2	49.8

Tabella I: prevalenza della miopia delle varie regioni ⁽⁸⁾

Prevalenza e incidenza della miopia variano nelle diverse parti del mondo, con picchi molto più accentuati nei paesi dell'Asia orientale (in particolare Cina, Giappone e Corea), soprattutto a partire dall'età scolare dove la prevalenza raggiunge valori tra l'80 e il 90%.

Inoltre, nel 2018 uno studio di L. Li ⁽⁹⁾ su 2432 bambini cinesi al primo anno di scuola elementare e 2346 al settimo anno (primo anno di scuola "media"), tutti non miopi, ha riportato un'incidenza della miopia pari al 33,6% per i bambini di 6 – 7 anni e del 54% per quelli di 12 – 13 all'esame di follow-up un anno dopo.

Valori così alti sembrano essere associati a cambiamenti di stile di vita e di educazione che stanno diventando sempre più pressanti e impediscono di trascorrere molto tempo all'aria aperta. Inoltre sono sempre più elevati il lavoro a

distanza ravvicinata (videoterminalisti, studio), e l'utilizzo eccessivo di dispositivi digitali come smartphone e tablet già in età pediatrica (distanza di lavoro molto ridotta in un'età in cui il sistema visivo e l'occhio stesso si stanno ancora sviluppando).⁽¹⁰⁾

Questa teoria sembra essere confermata da altre indagini, come quella svolta tra il 1983 e il 2000 di Lin (2004)⁽¹¹⁾ in cui è stata calcolata la prevalenza della miopia degli studenti taiwanesi di età compresa tra i 7 e i 18 anni. Sono state riscontrate percentuali diverse tra i soggetti che vivevano in area urbana e in zone rurali: i valori erano del 45,7% (maschi) e del 49,7% (femmine) per i bambini della scuola primaria che vivevano a Taipei nel 1995, mentre scendevano al 15,6% e 16,3% per chi abitava fuori città; si è verificato un aumento fino al 49,2% e 52,1% in città e 22,1% e 27,8% al di fuori, nel 2000.

Questi numeri sembrano cambiare non solo in base all'area geografica di crescita, ma anche a seconda dell'etnia: Katz⁽¹²⁾ ha misurato l'errore refrattivo in un campione di popolazione adulta (40 anni o più) di pelle bianca e nera, residente a Baltimore est dal 1985 al 1988. I dati ottenuti sottolineano una maggior prevalenza della miopia tra i soggetti bianchi, oltre a un decremento del tasso miopico con l'età in entrambi i sessi e le etnie. Quest'ultimo dato è stato riportato anche da Q. Wang⁽¹³⁾ in uno studio del 1994: la prevalenza cambia dal 43% in adulti di età compresa tra i 43 – 54 anni, al 14,4% nei soggetti con più di 75 anni.

In entrambi gli studi, sia in quello eseguito su un campione di popolazione adulta, sia in quello su bambini e adolescenti, la miopia risulta essere più diffusa tra i soggetti di sesso femminile.

1.3 Eziologia

Tra le cause principali di cecità e ipovisione nel mondo vi sono la non correzione dei vizi di refrazione (principalmente nei paesi sottosviluppati) e le complicanze date da miopia elevata (MMD, maggior rischio di sviluppare glaucoma o cataratta; Tab. II). È quindi importante comprenderne l'eziologia.

Disease stage	Parameter	Outcome	Reference
pathologic myopia	Prevalence in the general adult population		
	White	1%	17
	Asian	1–3%	18, 19, 20, 21
	Estimated prevalence of vision impairment due to pathologic myopia		
	European	1–5 per 1000	22, 23, 24
	Asian	2–15 per 1000	3, 6, 25, 26, 27
	Other populations		28, 29
	Annual incidence of blindness due to pathologic myopia		
	White	1–5 per 100 000	28, 31
	Asian	5–10 per 100 000	4
Myopic choroidal neovascularization	Prevalence of choroidal neovascularization		
	General population	0.05%	17, 21
	Patients with pathologic myopia	5–10%	31, 32, 33
	Incidence of choroidal neovascularization in pathologic myopia over 10 years	10%	16
Bilateral myopic choroidal neovascularization	Prevalence of bilateral choroidal neovascularization secondary to pathologic myopia	15–30%	16, 31, 34

Tabella II: prevalenza di cecità dovuta a miopia patologica ⁽⁶⁾

Le cause di insorgenza miopica non sono state ben comprese per molti anni e tuttora non sono certe, per questo vengono eseguiti numerosi studi a riguardo. Le evidenze degli ultimi anni ne mostrano un elevato aumento a livello mondiale non spiegabile unicamente con la genetica: lo sviluppo e la progressione della miopia quindi non sono dati solamente da fattori genetici, ma anche ambientali. ⁽⁶⁾

1.3.1 Fattori genetici

Nonostante sia solo una piccola parte, la miopia è stato dimostrato avere anche cause genetiche, che possono avere una componente ereditaria (uno studio su gemelli di 30 – 31 anni ha dimostrato che è di molto inferiore la differenza di miopia tra gemelli omozigoti rispetto agli eterozigoti ⁽¹⁴⁾) o di etnia: indipendentemente dal livello di istruzione, dal luogo in cui si è cresciuti o dallo stile di vita, che sicuramente incidono, la prevalenza di questa ametropia è maggiore nelle etnie

asiatiche e occidentali rispetto a quelle africane. Inoltre, è stato dimostrato che i geni potrebbero favorire una suscettibilità a fattori ambientali.

Due importanti studi del 2013, il primo ⁽¹⁵⁾ una metanalisi su circa 46000 partecipanti di provenienza sia europea che asiatica, il secondo uno studio su più di 54000 persone ⁽¹⁶⁾, hanno provato l'esistenza di più geni che possono avere un legame con l'insorgenza e lo svilupparsi di miopia e alta miopia poiché interagiscono con fattori che stimolano l'allungamento assiale del bulbo.

È stato inoltre osservato che la miopia si presenta più frequentemente in bambini con genitori miopi. Ciò è stato riportato più volte, come nello studio longitudinale durato 24 anni di Pacella ⁽¹⁷⁾ (1999), da cui è emerso che i bambini con due genitori miopi avevano 6,42 volte più probabilità di sviluppare l'ametropia rispetto a chi ne aveva solo uno o nessuno, oppure in quello di Mutti ⁽¹⁸⁾ (2002), il quale riporta che le proporzioni di miopia in età scolare (età: $13,7 \pm 0,5$ anni) sono del 6,3% nei bambini con entrambi i genitori emmetropi, del 18,2% quando un solo genitore è miope, e del 32,9% se entrambi lo sono.

Un altro studio del 2008 su bambini cinesi tra i 5 e 16 anni ⁽¹⁹⁾ ha trovato risultati simili oltre che a una diminuzione dell'ipermetropia nei soggetti che stavano per sviluppare miopia.

1.3.2 Fattori ambientali

I fattori ambientali sono quelli che, soprattutto negli ultimi decenni, hanno avuto e stanno avendo una maggior influenza negli studi riguardanti lo sviluppo della miopia. Infatti, la quantità di soggetti con questo vizio refrattivo sta crescendo sempre più di anno in anno, con una prevalenza e incidenza che aumentano molto velocemente. Questo fa capire che tra le cause eziologiche alcune derivano da stimoli visivi, quindi da informazioni che l'organismo acquisisce dall'esterno, tanto che la miopia viene anche considerata come un adattamento alla vita moderna. Le più supportate sono:

- *Defocus ipermetropico in un occhio miope corretto*
Dagli studi che Smith ⁽²⁾ ha eseguito sugli animali, in cui sperimentalmente ha imposto la formazione di defocus ipermetropico periferico (condizione

comune negli occhi miopi corretti), è stato dimostrato che questa condizione refrattiva è in grado di stimolare l'allungamento oculare. Al contrario un defocus miopico è in grado di rallentare questa crescita (concetto alla base delle lenti a contatto ortocheratologiche e multifocali).

- *Lavoro prossimale e postura*

È stato dimostrato che un lavoro intenso a distanza ravvicinata può modificare la lunghezza assiale del bulbo attraverso l'influenza di fattori biomeccanici (muscoli extraoculari, muscolo ciliare), oltre che provocare cambiamenti nella profondità della camera anteriore e nello spessore corneale associati principalmente a una postura con lo sguardo rivolto verso il basso (25° di inclinazione e un lavoro a 40 cm; Ghosh, 2014 ⁽²⁰⁾).

Anche una postura errata (spalle, schiena, inclinazione della testa) può quindi incidere nello sviluppo della miopia, oltre che produrre un'asimmetria che ricade in un diverso sviluppo tra i due occhi con conseguente anisometropia.

Uno studio su 642 bambini miopi cinesi frequentanti la scuola elementare ha inoltre raccolto dati riguardanti la distanza di lavoro in varie attività: gioco ai video games, lettura e scrittura. È emerso che i video games sono quelli che inducono una distanza di lavoro minore, oltre ad una postura errata con accentuata inclinazione in avanti della testa, il che può essere un fattore di rischio da considerare nella progressione miopica. ⁽²¹⁾

- *Tempo all'aria aperta*

Da alcuni studi sui bambini, come quello di Zadnik e Mutti del 2019 ⁽²²⁾, è emersa la probabilità per cui incida di più il tempo speso all'esterno che il lavoro prossimale nell'instaurarsi della miopia: più ore di svago all'aria aperta diminuiscono le probabilità di sviluppare miopia, anche se non rallentano la progressione miopica nel caso in cui il soggetto ne fosse già "affetto".

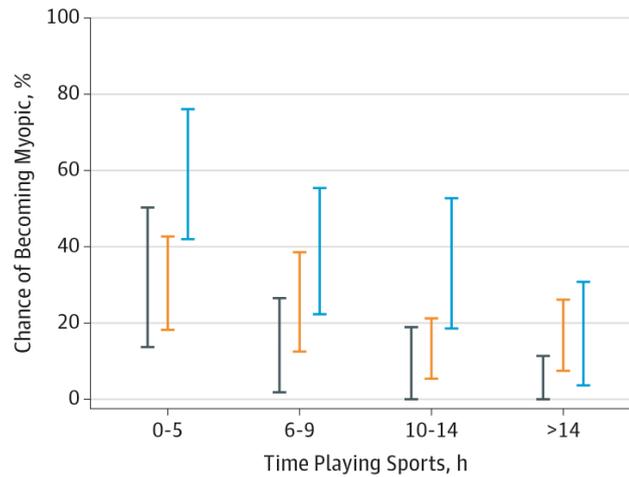


Figura 4: Associazione tra la miopia e il tempo speso all'aria aperta ⁽²²⁾

Altre ricerche stanno tuttora verificando una possibile correlazione tra miopia e livelli di vitamina D: essa viene per lo più assorbita dall'organismo grazie all'esposizione solare. Si pensa quindi che trascorrere più tempo all'esterno possa diminuire l'incidenza miopica anche grazie a una concentrazione più elevata della vitamina stessa. ⁽²³⁾

Anche l'illuminazione è molto importante, ma allo stesso tempo è un po' compresa in tutti i fattori già elencati. Essa infatti è dipendente dall'ambiente in cui ci si trova, influenzando quindi anche nel modo di comportarsi nell'ambiente stesso: se è bassa la distanza di lavoro si accorcerà con conseguenze anche nella periferia, e all'aperto l'illuminazione è data dal sole e quindi dà un maggiore assorbimento di vitamina D oltre che un campo visivo più ampio.

Questo e gli altri fattori ambientali sono importanti nella spiegazione di una prevalenza e incidenza miopica maggiori nelle aree urbane e centri abitati rispetto alle aree rurali.

CAPITOLO 2: Emmetropizzazione e progressione miopica

Il fatto che nell'infanzia ci siano anomalie refrattive variabili tra i soggetti, mentre nell'età adulta vi è un'alta concentrazione di emmetropia o lieve ipermetropia, ha fatto sorgere dubbi riguardo la natura delle condizioni refrattive; da qui è stato coniato il concetto di “*emmetropizzazione*” (Strub, 1909; Sorsby, 1980).

Questo è definibile come un processo di adattamento delle strutture anatomiche oculari (dimensione di cornea, cristallino, lunghezza assiale, etc.) indotto da stimoli visivi: la visione sfuocata innesca un comando chimico – biologico con lo scopo di allungare il bulbo oculare (o bloccare/rallentare l'allungamento nella miopia) per permettere la formazione di un'immagine retinica nitida. Van Alphen, già nel 1961, ha ipotizzato un modello, in seguito dimostrato sperimentalmente, secondo cui lo strato refrattivo è controllato da tre fattori (S, P e R) che mettono in relazione la refrazione del soggetto con le varie componenti ottiche oculari. Egli sostiene che il muscolo ciliare trasmette la sua tensione sulla coroide spingendola in avanti, mentre quando è rilassato la coroide spinge sulla sclera provocandone lo stiramento nei soggetti giovani. L'accomodazione è quindi fondamentale, poiché l'occhio giovane si espande finché la sua dimensione corrisponde al potere refrattivo. Ciò può dimostrare che lo sviluppo oculare non è dato solo dalla genetica, ma è gestito anche dalla visione. ⁽²⁴⁾

Si può quindi teorizzare che il meccanismo di emmetropizzazione stesso sia alla base della *progressione miopica*: un adattamento alle richieste ambientali, visive e accomodative in cui si vive. L'uomo preistorico era cacciatore e raccoglitore/contadino, quindi con un sistema visivo adatto per le distanze, e lavorava con un campo visivo ampio.

Oggi, al contrario, sono all'ordine del giorno il lavoro prossimale prolungato e spazi molto chiusi e limitati, che compromettono il campo visivo periferico andando a creare un defocus periferico ipermetropico, il quale favorisce l'allungamento assiale del bulbo e quindi il progredire dell'ametropia.

2.1 Il controllo della progressione miopica

Considerando quindi la progressione della miopia un adattamento alle condizioni visive di tutti i giorni, i metodi optometrici per controllarne l'avanzamento vanno a contrastare gli effetti delle condizioni stesse.

Tra le varie strategie esistenti, le più utilizzate ed efficaci sono:

- *L'ortocheratologia*: si tratta di lenti semirigide, solitamente a uso notturno, che grazie a un lavoro di pressioni positive e negative vanno a modificare in modo reversibile l'epitelio corneale, al fine di correggere l'errore refrattivo del paziente. È stato dimostrato essere uno dei metodi più efficaci di controllo della miopia, provocando una riduzione della progressione fino a un 45%. Ciò risulta possibile grazie alla distribuzione di potere diottrico che va a formarsi tramite il modellamento: in questo modo si crea un defocus periferico positivo, miopico. Inoltre il rebound una volta che si smette la lente è minimo se non assente ⁽²⁵⁾.
- *Le lenti a contatto multifocali e le lenti oftalmiche bifocali e progressive*: come nel caso dell'ortocheratologia sono metodi che, grazie a più poteri, sfruttano la teoria del defocus ottico.
- *L'atropina*: è un farmaco midriatico e cicloplegico, e per questo a esclusivo utilizzo medico (in Italia). Viene solitamente prescritto in concentrazione 0,01% per garantire efficacia e minor effetti collaterali. Alcuni studi rilevano un effetto rebound della progressione miopica una volta interrotto il trattamento ^{(26) (27)}.

Nei prossimi capitoli verranno riportati i risultati di ricerca riguardo le caratteristiche rappresentanti la figura del miope iniziale e l'aspetto evolutivo della miopia stessa, per poi esaminare come questi dati vengono riassunti principalmente in due teorie.

CAPITOLO 3: Visione binoculare e miopia

La visione binoculare è quella capacità degli esseri viventi, uomo compreso, di unire a livello cerebrale le informazioni visive provenienti da entrambi gli occhi in una sola immagine. ⁽²⁸⁾

Problematiche di natura accomodativa e binoculare possono influire nell'insorgenza della miopia, problematiche che spesso possono dipendere da adattamenti ad alcune condizioni di vita, come l'ambiente di lavoro o di studio (distanza di lettura, postura).

Alcuni studi (che verranno riportati nei prossimi capitoli) hanno evidenziato che alcuni test, e quindi di alcune "abilità visive", hanno subito un allontanamento dai valori di norma prima, durante ma anche dopo l'insorgenza della miopia; questi possono risultare utili per identificare ed eventualmente intervenire nei nuovi casi prima che l'ametropia si instauri o progredisca.

Tra le principali variabili (i test) necessarie per questa valutazione sono le deviazioni, individuabili nelle forie da eseguire sia nel lontano che nel vicino, le riserve fusionali necessarie a correggere lo stato eteroforico (vergenze positive e negative), LAG accomodativo, flessibilità accomodativa e accomodazione relativa (positiva e negativa).

3.1 Lo stato eteroforico

Numerosi studi sono stati eseguiti circa lo stato eteroforico (chiamato anche *foria* o *strabismo latente*) dei soggetti miopi e giovani miopi, anche a comparazione con quello di soggetti emmetropi. Con esso si intende un disallineamento degli assi visivi, quindi una deviazione tra i due occhi, rilevabile solo tramite l'interruzione della fusione; è quindi una condizione che in un certo senso viene annullata dalla visione binoculare (a differenza della disparità di fissazione che è invece rilevabile durante la fusione binoculare). Questa è spesso relazionata a una distanza specifica, per cui è importante misurarne l'entità, per mezzo di determinati test (es.: Von Graefe Test, Facchin Foria Card), sia nella visione a distanza che in quella prossimale, poichè la visione è un fattore dinamico. ⁽²⁹⁾

Se modesta, la foria è accettabile: solitamente la condizione di norma è di ortoforia o leggera exoforia nel lontano, e di moderata exoforia nel vicino ($3 - 8^\Delta$). Tra le cause che influiscono in un cambiamento dello stato eteroforico sono importanti da considerare l'accomodazione, il sistema delle vergenze e l'ametropia stessa: questi possono andare a modificarne la gravità (influiscono specialmente sulle forie orizzontali). ⁽²⁹⁾

Essa quindi non è una condizione statica, ma in continuo cambiamento e dalla sua entità, ma anche dal suo rapporto con le altre componenti della binocularità, possono essere ricavate informazioni riguardo lo stato della vista e della visione del paziente.

Focalizzandosi sulle cause di foria orizzontale, è stata evidenziata una correlazione tra lo stato eteroforico e la miopia. Una tendenza esoforica può essere dovuta a uno spasmo accomodativo sia in soggetti emmetropi che miopi; mentre una tendenza all'exoforia può essere data da un'accomodazione ridotta, come può essere quella di un miope non corretto (visione nitida nel vicino con l'utilizzo di meno accomodazione e quindi meno utilizzo di convergenza accomodativa) oppure da un'insufficienza accomodativa. ⁽³⁰⁾

Uno studio longitudinale del 2008 ⁽³¹⁾ durato tre anni, ha esaminato la condizione visiva accomodativa e binoculare di 118 studenti universitari portoghesi di età compresa tra i 20 e i 23 anni, raccogliendo dati circa la refrazione soggettiva, lo stato eteroforico (lontano e vicino), le vergenze (lontano e vicino), AC/A, lag

accomodativo e accomodazione relativa (positiva e negativa) dei partecipanti. È stato così evidenziato il discostarsi di alcuni test dai valori di norma, fornendo quindi un campanello d'allarme riguardo la manifestazione di uno shift miopico che successivamente si è verificato. Tra i vari test anche la condizione delle forie è cambiata, sia nella visione a distanza ma soprattutto in quella prossimale, durante i vari controlli, con uno slittamento o un aumento dell'exoforia, diversamente da ciò che invece risulta da altri studi.

Infatti, una ricerca dell'OLSM (*Orinda Longitudinal Study of Myopia*) e del CLEERE (*Collaborative Longitudinal Evaluation of Ethnicity and Refractive Error*), è stata condotta da Mutti (2017, USA) ⁽³²⁾ su un campione di 1128 bambini emmetropi (tra -0.25 D e +1.00 D) di età compresa tra i 6 e i 14 anni. Questa ha rilevato un aumento di esoforia prossimale ($> 2^{\Delta}$) nei 698 soggetti che poi hanno sviluppato miopia.

Questi valori sono inoltre strettamente connessi con il rapporto AC/A e col lag accomodativo.

Anche altri studi evidenziano un aumento dell'esoforia nel vicino o a una diminuzione dell'exoforia qualche tempo prima dell'instaurarsi di una miopia (oltre che essere una condizione presente anche nella progressione miopica), soprattutto quando vengono esaminati dei bambini e adulti.

Un esempio è quello riportato in un articolo francese del 1995 ⁽³³⁾ che aveva come scopo quello di trovare tutti i possibili fattori che possono determinare il formarsi di una miopia. La procedura è stata quella di comparare le caratteristiche visive di 25 soggetti emmetropi, divenuti miopi nei due anni di durata dello studio, con quelle di un gruppo controllo dello stesso numero che invece ha mantenuto la condizione di emmetropia (età media di circa 13 anni). Anche in questo caso è stata riportata una condizione pressoché simile nei due gruppi per quanto riguarda la visione a distanza, mentre cambiava la situazione nella visione prossimale, che presenta una tendenza esoforica.

Un altro scritto del 1996 di Goss ⁽³⁴⁾ evidenzia lo stesso tipo di shift verso l'esodeviazione manifestatosi sia nel periodo precedente all'instaurarsi della miopia, sia nel il periodo appena successivo. Questo è uno studio di coorte della durata complessiva di tre anni, intervallato da controlli semestrali, su una

popolazione di bambini (USA) la cui foria è stata misurata attraverso il test di Von Graefe. In seguito, la deviazione rilevata è stata comparata con quella di un gruppo di soggetti rimasto emmetrope, e per ogni singolo soggetto sono state messe a confronto le eventuali variazioni di foria determinate durante i vari controlli. È risultato che i bambini con valori al di fuori dell'intervallo compreso tra 3^Δ exo e 1^Δ eso sarebbero stati coloro che avrebbero sviluppato miopia.

Un'altra importante relazione è stata eseguita da K. M. Chung ⁽³⁵⁾ nel 2000. Egli ha eseguito uno studio retrospettivo in Malaysia su 144 soggetti, dei quali ha rilevato la foria prossimale col metodo di Maddox, per poi dividerli in tre gruppi a seconda dell'intervallo di foria di appartenenza. Da ciò è emersa un'importante e interessante associazione tra soggetti con esoforia prossimale e miopie elevate: questo sta a significare che l'esodeviazione potrebbe essere causa, o comunque un fattore rilevante, della progressione miopica.

Questo sembra essere confermato da Goss ⁽³⁶⁾ nel 1999, quando ha rilevato un cambiamento dello stato eteroforico contemporaneamente a una cessazione della progressione nei bambini (sono stati raccolti dati di chi aveva minimo tre esami prima dei 15 anni, e l'ultima visita è stata eseguita dopo i 17 anni): la deviazione è tornata ad essere fino a 1,8 ^Δ più divergente (tendenza exo).

Ricapitolando, emerge una differenza principale nei risultati ottenuti: una parte degli autori ha riscontrato un aumento prossimale di esoforia, mentre l'altro di exoforia. Ciò può essere spiegato con due teorie. Da un lato l'aumento esoforico può essere dato da un'insufficienza accomodativa associata a un eccesso di convergenza, dovuto al lavoro molto ravvicinato; questo va a sovrastimolare la convergenza stessa, rendendo necessario un rilassamento accomodativo per rilassare la convergenza (convergenza accomodativa). Dall'altro lato invece, l'aumento dell'exoforia potrebbe essere causato da un eccesso accomodativo; ciò renderebbe necessario un rilassamento della convergenza (aumento exoforico) per ridurre la sovrastimolazione dell'accomodazione data dal lavoro prossimale (accomodazione di convergenza).

3.2 Le vergenze fusionali

Oltre allo stato eteroforico del miope, bisogna valutare anche le vergenze o riserve fusionali e relative (legate poi anche alle accomodazioni relative positiva e negativa), importanti al fine di determinare in qual misura quella foria incide nella visione e quindi nel benessere visivo del paziente, poiché si oppongono alla foria stessa. Secondo il criterio di Sheard, le riserve fusionali devono essere almeno il doppio della deviazione perché essa sia ben sopportata.

Pertanto queste esprimono la flessibilità binoculare o fusionale: misurate sia nel lontano che a distanza di lettura, definiscono il valore di vergenza che il soggetto riesce a eseguire senza influenza sull'accomodazione (*relative* all'accomodazione e *fusionali* se riferite al limite della diplopia). Possono essere:

- Negative (vergenza fusionale negativa, VFN): vengono misurate con prismi a base nasale/interna (BI), per stimolare la capacità di divergere del sistema visivo e anche la disaccomodazione. Compensano le forie di tipo eso.
- Positive (vergenza fusionale positiva, VFP): vengono misurate con prismi a base tempiale/esterna (BE), per stimolare la convergenza del sistema visivo e anche la sua accomodazione. Compensano le forie di tipo exo ⁽³⁷⁾.

Uno studio di coorte dell'American Academy of Optometry (AAO, 2011) ⁽³⁸⁾, ogni anno per dieci anni ha raccolto dati riguardanti foria, vergenze fusionali e punto prossimo di convergenza (PPC) di 114 bambini di età compresa tra i 7 e i 13 anni (52 maschi e 62 femmine). Dai risultati si ricava che, nonostante dopo il primo anno di follow up sembravano essere aumentate sia l'esodeviazione prossimale che le VFP (BE), al termine dei dieci anni di studio la foria è invece diventata più divergente, quindi c'è stato uno shift verso l'exoforia. Questo aumento di exo nel vicino è accompagnato da una diminuzione delle vergenze positive (BE).

Ciò, come emerge anche da un articolo di Mutti del 2017 ⁽³²⁾, potrebbe però essere dovuto anche dal fatto che l'esoforia pare aumentare solo prima e durante lo stabilizzarsi della miopia. L'allontanamento dai valori di norma risulta invece venire meno o comunque avere meno rilevanza una volta che la miopia si è arrestata; questa ipotesi è stata considerata anche precedentemente, in uno studio del 1999 ⁽³⁹⁾, al fine di spiegare i risultati ottenuti riguardanti forie e AC/A, diversi tra i soggetti più giovani e quelli adulti con miopia che sembra stabile. Si può quindi

dire che la condizione di esoforia può essere caratterizzante anche durante la progressione della miopia.

Nel 2002 una ricerca è stata eseguita da A. H. Chen e A. H. Z. Abidin ⁽⁴⁰⁾ sul sistema accomodativo e delle vergenze di 60 bambini tra i 7 e i 12 anni di una scuola primaria malese. Da ciò è emerso che nonostante le risposte accomodative (facilità e accomodazioni relative) e delle vergenze (eteroforia and facilità) non variassero significativamente nel corso dei 6 anni di istruzione, i risultati discostavano un po' dai valori di norma individuati da Scheiman e Wick (basati però su rilevazioni di soggetti per lo più caucasici), e negli anni vi era una variazione maggiore per quanto riguardava il sistema delle riserve fusionali.

I valori medi, di norma, delle vergenze fusionali eseguite con le sbarre dei prismi sono inoltre state dimostrate essere diverse tra i soggetti più giovani (7 – 12 anni) e gli adulti.

Per i bambini:

- I valori delle *riserve fusionali positive* (VFP) a distanza prossimale corrispondono a $23 (\pm 8)^\Delta$ BE per il punto di rottura e $16 (\pm 6)^\Delta$ BE per il recupero;
- Le *riserve fusionali negative* (VFN) nel vicino sono invece di $12 (\pm 5)^\Delta$ BI per la rottura e $7 (\pm 4)^\Delta$ BI nel recupero.

Per gli adulti:

- I valori delle VFP a distanza prossimale corrispondono a $19 (\pm 9)^\Delta$ BE per la rottura e $14 (\pm 7)^\Delta$ BE il recupero;
- Le VFN nel vicino sono di $13 (\pm 6)^\Delta$ BI per la rottura e $10 (\pm 5)^\Delta$ BI il recupero. ^{(41) (42)}

Nel corso della ricerca sono state trovate differenze importanti tra le vergenze fusionali dei bambini iscritti ai vari anni di corso della scuola primaria: sia quelle positive che negative nel lontano, e le riserve fusionali negative nel vicino dimostravano avere valori molto variabili comparando tra loro le medie dei vari anni di corso (Fig. 5, 6, 7).

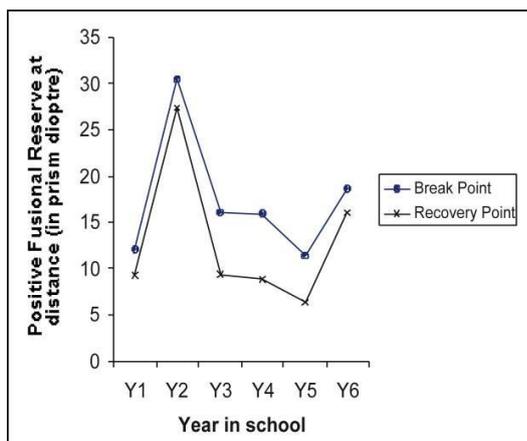


Figura 5: grafico rappresentante punti di rottura e di recupero delle vergenze fusionali positive a distanza per ogni anno di corso ⁽⁴⁰⁾

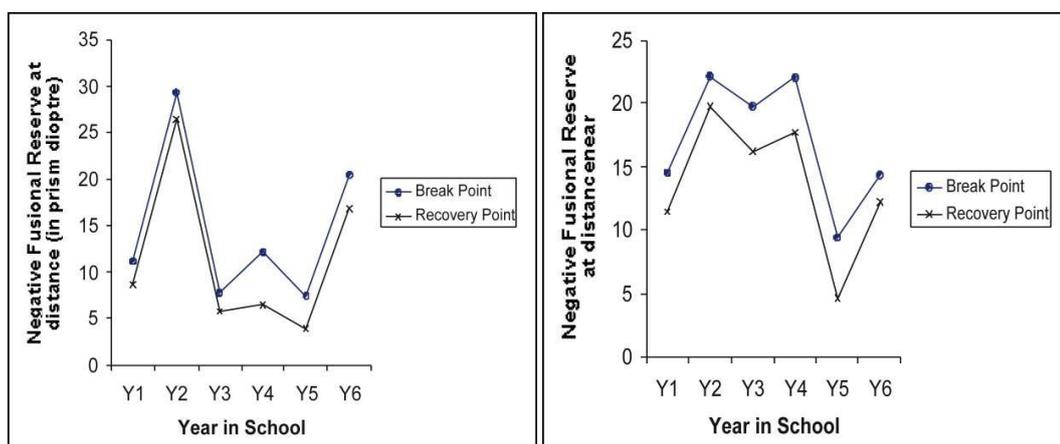


Figura 6 (a sinistra): grafico rappresentante punti di rottura e di recupero delle vergenze fusionali negative a distanza per ogni anno di corso ⁽⁴⁰⁾

Figura 7 (a destra): grafico rappresentante punti di rottura e di recupero delle vergenze fusionali negative a distanza prossimale per ogni anno di corso ⁽⁴⁰⁾

Questo è un fattore molto importante da considerare, poiché valori normali e anormali delle riserve fusionali sono fonti preziose per comprendere eventuali stabilità o instabilità del sistema binoculare visivo. Soprattutto dal momento in cui un'instabilità binoculare può essere associata con un'eventuale progressione miopica.

Ciò è maggiormente interessante poiché quella della popolazione in esame è l'età in cui si sviluppa la miopia scolastica. Nonostante ciò, dato che il campione è costituito da un numero limitato di individui, e per il fatto che nello stesso studio

non è espressa una stretta relazione tra i due fattori, questa connessione non può essere accertata. Sarebbe utile a tal fine, eseguire uno studio longitudinale e verificare così un'eventuale insorgenza dell'ametropia in quegli stessi soggetti.

Non si può parlare di vergenze (in particolare di convergenza) senza considerare il suo legame con l'accomodazione, che si esterna nel modo più esplicito con il rapporto AC/A.

Riassumendo, i risultati ottenuti sono concordanti con quelli trovati precedentemente riguardo lo stato eteroforico e con le ipotesi proposte: una diminuzione delle vergenze fusionali negative (VFN) è solitamente associata a un aumento di esoforia, ed è una caratteristica sia dell'insufficienza accomodativa che dell'eccesso di convergenza. D'altra parte, una diminuzione delle vergenze fusionali positive (VFP) è invece comune in caso di exoforia, oltre ad essere una particolarità dell'eccesso accomodativo.

3.3 Il rapporto AC/A

La convergenza, ovvero il movimento eseguito dagli occhi per spostarsi da un oggetto posto su un piano più lontano a un oggetto su un piano più vicino, è considerata il risultato di tre componenti (Maddox, 1893):

- Componente psichica: la coscienza della vicinanza dell'oggetto induce convergenza volontaria.
- Componente fisiologica: causa la convergenza tonica che cessa con la morte o la paralisi. Quando non c'è fusione (non c'è fissazione, componente accomodativa) gli occhi si portano nella posizione fisiologica di riposo (leggermente divergente).
- Componente accomodativa: la convergenza è associata allo sforzo accomodativo. È indotta dall'attività innervativa, non dall'accomodazione manifesta.

Il legame tra accomodazione e la relativa convergenza è espresso dal rapporto AC/A (*Accommodative Convergence e Accomodation*), che esprime la quantità di convergenza accomodativa indotta da una quantità di accomodazione (norma: $4/1 - 6/1 \Delta/D$).⁽⁴³⁾

Il suo valore dovrebbe rimanere invariato negli anni, ma numerosi studi hanno dimostrato che questo rapporto è più elevato tra i soggetti che stanno sviluppando miopia.

Lo stesso studio longitudinale di Mutti già citato precedentemente⁽³²⁾ su 1128 bambini (698 miopi e 430 emmetropi dai 6 ai 14 anni), ha analizzato anche il rapporto AC/A del campione suddividendo i risultati anche in base ai gruppi etnici di appartenenza.

L'anno 0 è considerato l'anno di insorgenza miopica (miopia minima di -0,75 D su ogni meridiano principale alla refrazione con cicloplegico), con un totale di 10 anni in cui periodicamente veniva fatta una visita con rilevazione di refrazione, lag accomodativo, rapporto AC/A, forie.

Un aumento di AC/A è stato registrato tra i soggetti che poi hanno sviluppato la miopia, valori che poi sono rimasti elevati a differenza dell'esoforia prossimale che invece, una volta che l'ametropia si è instaurata, è tornata a una tendenza più

exoforica. Inizialmente, 5 anni prima dell'anno 0, il rapporto era simile tra i due gruppi (circa $4/1 \Delta/D$), per poi cambiare negli anni successivi fino a raggiungere un picco di $7/1 \Delta/D$ nei nuovi miopi (Fig. 8, 9 e 10).

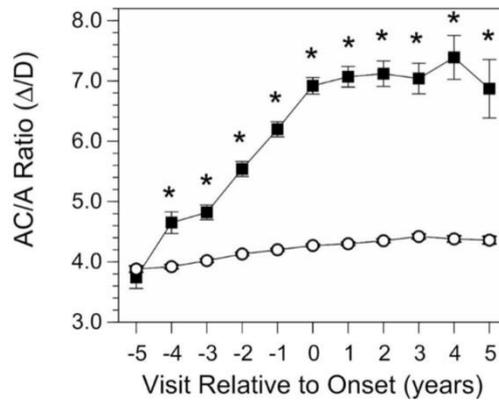


Figura 8: il rapporto AC/A come una funzione delle visite annuali relative all'inizio della miopia (anno 0). I dati sono di bambini diventati miopi (■) e da modelli emmetropi (○)

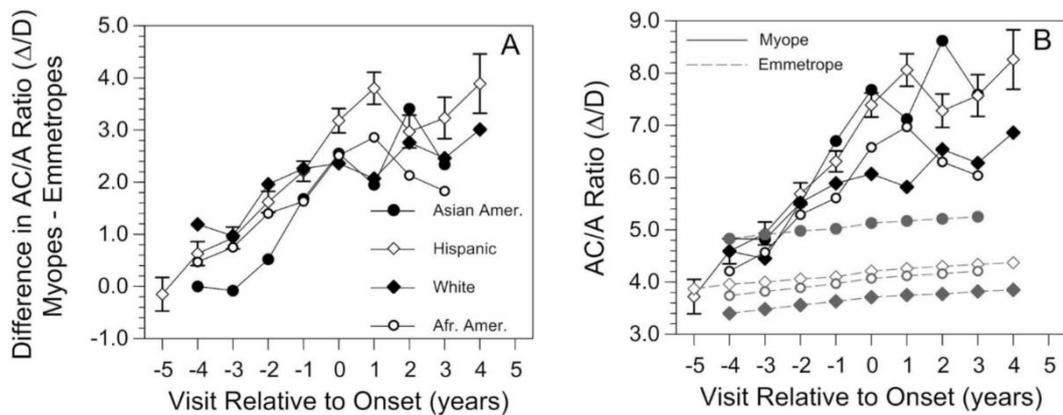


Figura 9 (sinistra): grafico rappresentante la differenza di risposta del rapporto AC/A tra bambini che sono diventati miopi, associati per età, sesso ed etnia ai valori di modelli emmetropi. Ad esempio, i bambini ispanici al terzo anno di visita dall'insorgenza miopica hanno un AC/A di circa $3,2 \Delta/D$ maggiore del loro modello emmetrope.

Figura 10 (destra): grafico rappresentante i valori medi di AC/A nei bambini che sono diventati miopi e i corrispondenti modelli emmetropi (linee più chiare e tratteggiate) per età, sesso ed etnia. I dati sono raffigurati dove ci sono almeno 20 bambini per visita per ogni gruppo etnico.

Nel grafico si notano inoltre valori più alti tra i bambini con origini asiatiche seguiti da quelli caucasici, come ci si aspetterebbe dalle percentuali di prevalenza e incidenza prima descritti.

Anche J. Gwiazda in due suoi studi, uno del 1999 ⁽³⁹⁾ e l'altro del 2005 ⁽⁴⁴⁾, ha ottenuto valori più alti nei soggetti che stavano per sviluppare miopia.

Il primo è stato eseguito su un campione di 101 soggetti tra i 5 e i 21 anni; di questi 33 erano già miopi (da -0,50 D a -7,75 D, Rx media = -2.2 D) e 68 emmetropi (da -0,25 D a +0.75 D, Rx media = 0,2 D), mentre nessuno era astigmatico o con anisometropia maggiore a 1,0 D. Da ciò è risultato che i valori di AC/A sono più elevati nei giovani miopi rispetto ai più adulti, e più in generale sono maggiori nel gruppo miope rispetto agli emmetropi.

Il secondo invece è stato fatto su 80 bambini di età compresa tra i 6 e i 18 anni, 26 dei quali hanno sviluppato una miopia di almeno -0,50 D, e 54 rimasti emmetropi (da -0,25 a +0,75 D). I bambini che sono diventati miopi avevano un alto rapporto AC/A, se confrontato con gli emmetropi, già uno o due anni prima il manifestarsi del vizio e fino a un anno dopo. Questo è dovuto a una ridotta accomodazione dei soggetti miopi; la convergenza accomodativa era invece alta solamente all'instaurarsi della miopia.

Un ulteriore studio di M. Rosenfield ⁽⁴⁵⁾ è andato ad esaminare e comparare l'effetto su accomodazione e rapporto AC/A di un impegno visivo prossimale della durata di 14 minuti tra soggetti emmetropi, nuovi miopi e miopi da più di 15 anni. I risultati hanno riportato un rapporto maggiore nei nuovi miopi rispetto agli altri gruppi; anche quello dei soggetti miopi da più di 15 anni è abbastanza elevato, ma più simile a quello dei soggetti emmetropi (da considerare che alcuni partecipanti di questo gruppo hanno eseguito l'esercizio senza l'uso della correzione; questo va a influire sulla risposta accomodativa e quindi sul rapporto).

In conclusione, i risultati sono unanimi nell'affermare che uno degli indicatori della miopia è dato da un rapporto AC/A elevato. Questo è importante in particolar modo per spiegare la correlazione tra insufficienza accomodativa ed eccesso di convergenza, soprattutto considerando che è una caratteristica fondamentale di quest'ultimo.

CAPITOLO 4: Accomodazione e miopia

In un qualsiasi soggetto non si può però parlare solamente e strettamente del sistema binoculare se non viene considerato anche l'aspetto accomodativo, in quanto essi sono legati e si completano a vicenda.

4.1 LAG accomodativo

A livello teorico si suppone che la domanda accomodativa richiesta per osservare uno oggetto vicino corrisponda all'inverso della distanza (in metri) dello stesso dall'osservatore. Nella pratica però non è così: quando osserviamo qualcosa spazialmente prossimo a noi, non accomodiamo esattamente della stessa quantità ma in difetto (più lontano) rispetto al piano in cui si trova l'oggetto. Il lag (“*ritardo*”) accomodativo rappresenta la differenza diottrica fra lo stimolo accomodativo e l'effettiva risposta accomodativa esercitata dal soggetto.

Questo valore normalmente viene trovato o calcolato tramite la schiascopia dinamica: eseguendo una specie di misurazione dell'ametropia del soggetto a distanza prossimale, viene fornita un'idea sul benessere visivo e su eventuali correzioni della refrazione trovata precedentemente. La norma è 0,50 D di lag accomodativo: se il valore è di 0,00 D significa che stimolo accomodativo e risposta accomodativa coincidono, se invece il soggetto è in *lead* significa che sta accomodando troppo.

Questa è perciò un'importante risorsa per scoprire anomalie e cambiamenti nel sistema visivo di una persona, come potrebbe essere quello di un giovane miope.

Il medesimo studio di Mutti del 2017 già citato precedentemente ⁽³²⁾, ha trovato un legame tra l'aumento di AC/A nei nuovi miopi e un maggior lag accomodativo, anche se questo non sembra influenzare la velocità di un'eventuale progressione miopica. Il legame tra questi due fattori può significare che l'aumento stesso del rapporto AC/A non sia tanto dovuto alla convergenza accomodativa, quanto alla componente dell'accomodazione.

Inoltre lag maggiori sono stati trovati tra soggetti con esoforia prossimale, se comparati con soggetti exoforici, in condizioni binoculari. Questo potrebbe

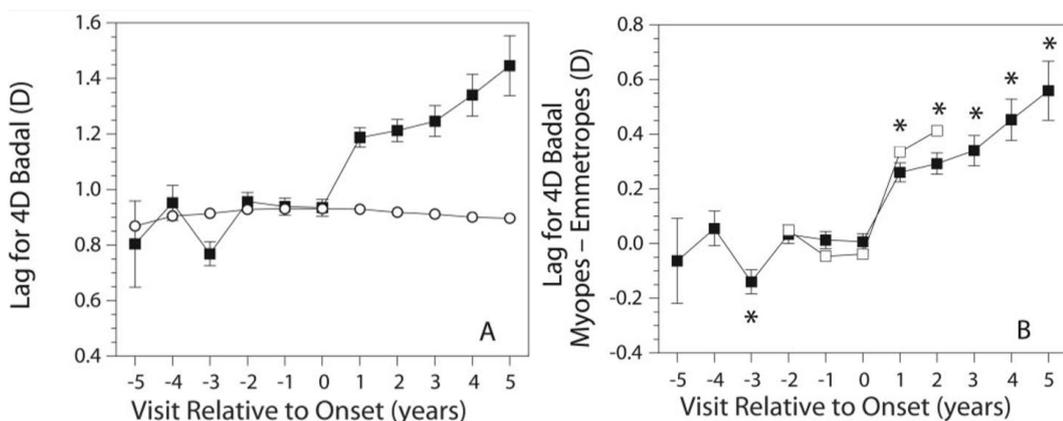
significare che l'associazione AC/A-lag sia dovuta a una risposta adattiva allo stress binoculare dato dall'esoforia.

Un altro articolo del 2006 ⁽⁴⁶⁾, sempre di Mutti, riporta un approfondimento sul lag prima e dopo l'instaurarsi della miopia. Si tratta di uno studio di coorte su una popolazione di 1107 bambini di diversa etnia: 568 che sono diventati miopi (almeno -0,75 D in ogni meridiano) e 539 che sono rimasti sempre emmetropi (tra -0,25 D e +1,00 D in ogni meridiano a tutte le visite).

Il lag accomodativo è stato misurato annualmente tramite l'ausilio di un autorefrattometro a campo aperto (in fase di misurazione il paziente fissa una mira esterna allo strumento guardando con entrambi gli occhi in visione naturale) per stimoli di 4 D o 2 D. Inoltre, il lag dei bambini che sono diventati miopi è stato comparato ogni anno per i 5 anni precedenti e 5 anni successivi alla comparsa dell'ametropia (anno 0), con quelli di un modello emmetrope di stessa età, sesso ed etnia.

Da ciò è emerso che durante l'anno in cui la miopia si è instaurata il lag tra i nuovi miopi non era molto più alto di quello degli emmetropi per entrambi le tipologie di stimolo.

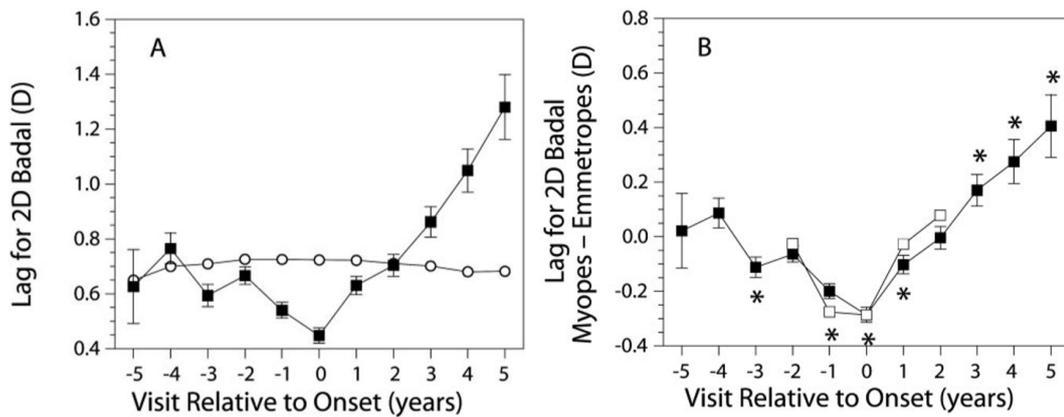
Esso era però alto 4 anni prima all'avvento del vizio refrattivo e sicuramente molto elevato dopo l'anno 0, con una distribuzione che seguiva anche l'etnia dei soggetti: più consistente negli asiatici, medio negli ispanici e più basso tra afroamericani e caucasici (Fig. 11, 12, 13 e 14).



Grafici del lag accomodativo allo stimolo di 4 D relativo all'instaurarsi della miopia (anno 0):

Figura 11 (sinistra): dati per i nuovi miopi (■) e i modelli emmetropi (○)

Figura 12 (destra): differenze tra i nuovi miopi e i dati dei soggetti emmetropi (□)



Grafici del lag accomodativo allo stimolo di 2 D relativo all'instaurarsi della miopia (anno 0):

Figura 13 (sinistra): dati per i nuovi miopi (■) e i modelli emmetropi (○)

Figura 14 (destra): differenze tra i nuovi miopi e i dati dei soggetti emmetropi (□)

Però, come si nota anche dai grafici, la differenza di lag tra miopi ed emmetropi è maggiore soprattutto dopo che la miopia si è stabilita. Ciò fa sorgere dubbi riguardo l'influenza di questo fattore come predittore dell'ametropia, anche se altri studi (come quello eseguito più tardi nel 2017) che hanno trovato un aumento di lag associato a un aumento di AC/A sembrano dimostrare il contrario.

Un altro studio già citato di Drobe del 1995⁽³³⁾ ha invece trovato valori più positivi nella retinoscopia prossimale, e quindi un lag accomodativo più elevato, nei 25 nuovi soggetti miopi rispetto al gruppo di paragone emmetrope.

Un risultato simile lo si può trarre dall'articolo uscito nel 2005 di Gwiazda⁽⁴⁴⁾ che riporta un valore del rapporto AC/A molto elevato già 1 e 2 anni prima del manifestarsi della miopia. A questo valore non era però associabile un aumento di convergenza accomodativa, se non dal momento in cui il soggetto diventava ametropo: ciò potrebbe essere spiegato con un'accomodazione significativamente ridotta, riconducibile quindi a un aumento del lag stesso.

Esistono dunque studi che mettono in evidenza il lag accomodativo e quanto questo sia superiore alla norma nei soggetti miopi, caratteristica comune anche all'insufficienza accomodativa e all'eccesso accomodativo. Un lag elevato esplicita inoltre la necessità di rilassare l'accomodazione al fine di ridurre la convergenza.

4.2 Accomodazioni relative

L'accomodazione relativa (alle vergenze) è la capacità di variare l'accomodazione mantenendo stabili i movimenti di vergenza. Sono quindi abilità strettamente legate alla binocularità, in particolare alle riserve fusionali, e come esse possono essere distinte in due tipologie:

- Accomodazioni relative positive (ARP): anteponendo all'occhio lenti negative, si quantifica la capacità del soggetto di accomodare; questa accomodazione induce una convergenza che deve essere annullata dalle vergenze fusionali negative (VFN). Quando queste sono esaurite, o la capacità accomodativa termina, il soggetto vedrà sfuocato.
- Accomodazioni relative negative (ARN): anteponendo lenti positive, si misura la capacità del soggetto di rilassare l'accomodazione; ciò induce divergenza e quindi l'uso delle vergenze fusionali positive (VFP). Quando queste sono esaurite, o la capacità termina, il soggetto non riuscirà a vedere la mira nitida.

Esse sono molto importanti nell'analisi di problematiche accomodative e binoculari, anche perché rapportate ai valori di AC/A, VF e AA. Ad esempio, ARP alte (e/o ARN bassi) possono essere un campanello d'allarme dell'eccesso accomodativo (pseudomiopia), oppure ARN elevate (e/o ARP bassi) possono indicare un'insufficienza accomodativa. ⁽⁴⁷⁾

Uno studio di J. Gwiazda del 1993 ⁽⁴⁸⁾ ha investigato sulla risposta accomodativa di bambini miopi corretti (instaurarsi o progressione miopica) ed emmetropi per confrontare tra loro i risultati ed evidenziare eventuali differenze. Durante i test non sono state misurate propriamente le accomodazioni relative, ma con l'ausilio di un autorefrattometro sono state rilevate le risposte accomodative alla visione di una mira posta a sette diverse distanze (da 4,0 a 0,25 m): hanno guardato le lettere a 4 metri attraverso una serie di lenti negative e quelle a 0,25 metri attraverso lenti positive.

È risultato che nel rilassare l'accomodazione emmetropi e miopi avevano reazioni simili, mentre anteponendo lenti negative, quindi alla stimolazione accomodativa, il feedback nei soggetti con miopia era minore.

Si potrebbe quindi dedurre, senza certezza, che probabilmente anche al test delle ARP i risultati potrebbero essere inferiori alla norma (mentre le ARN resterebbero pressoché invariate).

Questo sarebbe un ragionamento sensato dal momento che ARP e VFN sono collegate, e quest'ultime sono basse in presenza di miopia.

A questo proposito in un altro articolo, di Qiao-Ya Lin del 2015 ⁽⁴⁹⁾, è stata analizzata la correlazione tra miopia, progressione miopica e le accomodazioni relative, al fine di comprendere se una loro variazione potesse costituire un fattore eziologico dell'ametropia. All'ospedale di Quanzhou tra l'agosto e il dicembre del 2014, sono stati analizzati e comparati novanta occhi di pazienti emmetropi, con miopia bassa, moderata e alta. Ciò che è emerso sono un'accomodazione relativa positiva bassa e una negativa al contrario alta nei soggetti miopi, in particolare dove il difetto era elevato. Data però la multifattorialità della miopia e della sua progressione, questi risultati non dimostrano un legame certo tra i due aspetti, ma rimangono comunque importanti e non trascurabili.

Altri due studi sono importanti ad avvalorare questa ipotesi: uno di Goss del 1991 ⁽⁵⁰⁾, e l'altro di Drobe e de Saint-Andrè del 1995 ⁽³³⁾.

Il primo è stato eseguito su un campione di bambini diviso in due gruppi, di 75 bambini ciascuno, accoppiati per area di nascita e crescita, etnia, genere ed età: quello "rimasto emmetrope", che doveva risultare emmetrope ad almeno due visite tra i 6 e i 15 anni (equivalente sferico tra 0 e +1,00 D), e quello "diventato miope", dove i bambini dovevano essere emmetropi ad almeno una visita dopo i 6 anni d'età e diventare miopi prima dei 15.

In condizioni di binocularità sono state rilevate le misurazioni di ARP e ARN col target a 40 cm e variazioni di 0,25 D fino allo sfuocamento. Sono stati misurati anche forie prossimali e i cilindri crociati binoculari.

È emersa una tendenza esoforica tra i nuovi miopi (media di 1^Δ eso, mentre di 2^Δ exo per gli emmetropi), accompagnata da accomodazioni relative positive più basse (-2,53 D; media di -3,16 D per gli emmetropi) e un aumento delle negative (Fig. 15 e 16).

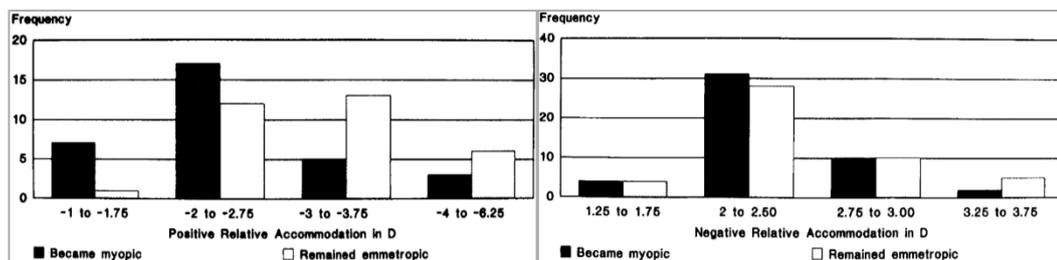


Figura 15 (a sinistra): grafico rappresentante la distribuzione (in diottrie) delle ARP

Figura 16 (a destra): grafico rappresentante la distribuzione (in diottrie) delle ARN

Il secondo invece, già precedentemente citato, ha suddiviso i partecipanti in due gruppi di 25 persone ciascuno: come quello di Goss, in pre-miopi e stabilmente emmetropi. All'anteposizione all'occhio di lenti negative, concave, per trovare l'ARP il risultato misurato nel gruppo miope è considerabilmente minore rispetto a quello della parte emmetrope, e anche le ARN erano maggiori (Tab. III).

	Pre-myopes			Stable emmetropes			t-test values	
	\bar{x}	n	SD	\bar{x}	n	SD	t	P
Subjective far refraction	0.15	25	0.22	0.39	25	0.27	3.46	0.001
(Near-point retinoscopy) – (subjective far refraction)	1.28	24	0.72	0.79	25	0.81	2.25	0.03
(Near-point retinoscopy) – (far-point retinoscopy)	1.3	24	0.65	0.81	25	0.69	2.52	0.015
(Near binocular cross-cylinders) – (subjective far refraction)	1.33	18	0.57	0.82	18	0.52	2.83	0.008
(Near concave reading threshold) – (subjective far refraction)	-2.84	20	1.89	-4.02	24	1.95	2.04	0.04
Reading near amplitude	5.73	20	2	6.81	24	2.27	1.68	0.1
(Convex far comfort threshold) – (concave near comfort threshold)	-0.44	22	2.15	-1.25	23	1.45	1.47	0.15
Near horizontal heterophoria	0.59 eso	23	6.73	2.3 exo	23	4.16	1.75	0.08

Tabella III: dati rilevati nello studio. Mostra le medie (\bar{x}), la grandezza (n) e la deviazione standard (SD) per ogni parametro studiato

Si deduce quindi una relazione tra i risultati delle accomodazioni relative positive, che sono risultate inferiori alla media nei soggetti miopi, e la stessa diminuzione delle vergenze fusionali negative. Un altro collegamento, totalmente comprensibile per le ragioni appena esplicate, è emerso tra ARP basse e una tendenza esoforica. Inoltre è importante tener conto che le accomodazioni relative positive basse è caratteristica di insufficienza accomodativa ed eccesso di convergenza.

4.3 Flessibilità accomodativa

Questo test è utile, come le accomodazioni relative, a valutare la capacità del sistema di stimolare e rilassare l'accomodazione, eseguendo però degli step diottrici più repentini e importanti: si capisce nell'immediato la velocità di risposta del soggetto ed è un'azione più ambientale e simile alla realtà, importante ad esempio in uno spasmo accomodativo, dove il rilassamento accomodativo è più lento. Solitamente si utilizzano dei flipper accomodativi con lenti di $\pm 2,00D$, che danno uno sbalzo di $4,00 D$ alla volta.

La flessibilità può essere eseguita sia binocularmente (norma: 10 ± 5 cpm) che in condizione monoculare (norma: 11 ± 5 cpm).⁽⁵¹⁾ Se il soggetto esegue pochi cicli al minuto nella prima situazione può essere presente un problema di natura binoculare (sistema delle vergenze) oppure accomodativo, motivo per cui si esegue anche monocolarmente: se i cicli sono nella norma vi sarà una disfunzione binoculare, in caso contrario del sistema accomodativo (solitamente se le forie e le vergenze fusionali sono nella norma).

Nel 2001 O'Leary⁽⁵²⁾, dopo aver riscontrato anche nella letteratura precedente caratteristiche accomodative anormali nei miopi, ha comparato la facilità accomodativa di 79 studenti (42 emmetropi e 37 miopi) tra i 18 e i 27 anni. La facilità è stata misurata nel lontano e nel vicino per la durata di 1 minuto: il primo con una mira a 6 m di distanza e antepoendo e rimuovendo solamente una lente di $-2,00 D$, il secondo utilizzando un flipper $\pm 2,00 D$ a 40 cm di distanza. I risultati evidenziano una risposta più lenta nei soggetti miopi, sia della flessibilità a distanza che prossimale (Fig. 17 e 18).

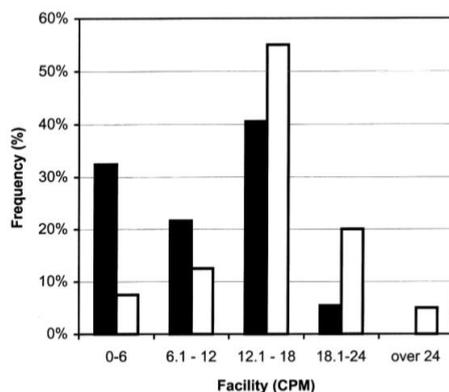


Figura 17 (a sinistra): grafico rappresentante la facilità a distanza di miopi (■) ed emmetropi (□)

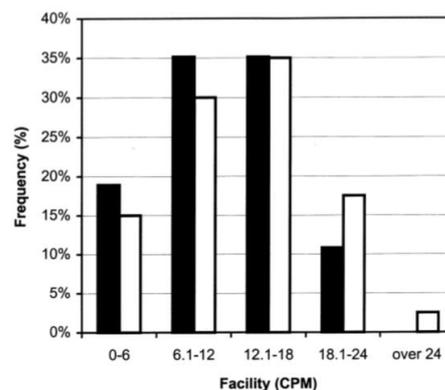


Figura 18 (a destra): grafico rappresentante la facilità prossimale di miopi (■) ed emmetropi (□)

La facilità media nel lontano era di $9,7 \pm 6,3$ cpm per i miopi, mentre di $15,6 \pm 6,8$ cpm per gli emmetropi; nel vicino $11,4 \pm 5,1$ cpm per i miopi e $12,9 \pm 6,4$ cpm per gli emmetropi (meno rilevante). Inoltre la risposta al rilassamento accomodativo era temporalmente più lungo nei miopi.

Risultati simili sono stati riscontrati anche in altri due studi: uno di H. Radhakrishnan del 2007⁽⁵³⁾, l'altro di A. Pandian del 2006⁽⁵⁴⁾.

Nel primo è stata misurata la flessibilità accomodativa lontana e vicina di un campione di 20 giovani adulti (tra i 20 e i 35 anni), 10 emmetropi e 10 miopi. Anche in questo caso flessibilità molto più lente e problemi col positivo si sono verificati tra i soggetti miopi, specialmente a distanza.

Nel secondo sono invece stati esaminati 1328 occhi destri di bambini di 6 e 7 anni (bambini frequentanti il primo anni di scuola elementare) al Sydney Myopia Study. Di questi 20 erano miopi (1,5%), 977 emmetropi (73,6%), 331 ipermetropi (24,9%). È stata rilevata la facilità accomodativa a 3 m e 33 cm con l'utilizzo di flipper semiautomatici.

A distanza, la facilità media era inferiore per gli occhi miopi (tempi più lunghi), con $5,5 \pm 2,0$ cpm, se paragonati con i $6,9 \pm 1,7$ cpm degli occhi ipermetropi ed emmetropi, senza particolari differenze tra positivo e negativo. Nel vicino invece i risultati, comunque minori nei miopi, erano meno significativi.

Riassumendo, è emersa una difficoltà nel rilassare l'accomodazione nei soggetti miopi rispetto agli emmetropi. Questo fattore può essere indice di un eccesso di accomodazione, dove la risposta alle lenti positive è poca se non nulla, a causa di un temporaneo "spasmo" del muscolo ciliare. Questo è concorde con ciò ipotizzato inizialmente: si crea un rilassamento della convergenza (tendenza exoforica) col fine di distendere anche l'accomodazione.

Proposta di analisi visiva nel soggetto miope

Riassumendo i risultati raccolti precedentemente si ottengono questi dati riguardanti il profilo visivo del miope, che se confrontato con quello dell'emmetrope ha:

- Maggiore esoforia prossimale (a volte anche exoforia);
- Rapporto AC/A più alto;
- Lag maggiore;
- Minore valore di ARP (e di conseguenza VFN).
- Flessibilità accomodativa bassa, più lento col positivo

Da queste informazioni si può quindi dedurre che sulla miopia si discute ancora, e vi sono più teorie riguardanti il suo manifestarsi e progredire. Le due principali con cui vengono spiegati i risultati, a volte contrastanti, in precedenza riassunti sono entrambe associabili a uno stress visivo causato (e che causa in un circolo vizioso) dal lavoro prossimale, soprattutto quando la distanza di lavoro si riduce:

○ *L'eccesso accomodativo*

Questa anomalia accomodativa (o lo spasmo accomodativo del muscolo ciliare) se persiste nel tempo può sfociare in pseudomiopia. I soggetti sperimentano un affaticamento visivo nel lavoro prossimale accompagnato eventualmente da astenopia. Molte volte viene confuso con la miopia, è importante notare la grande differenza tra refrazione oggettiva e soggettiva (più negativa), ed è anche considerato una forma iniziale dell'ametropia stessa poiché se non si interviene o se viene corretto può effettivamente svilupparsi in miopia. Per avere conferma sulla sua natura, si può fare la refrazione in cicloplegia (o il confronto col soggettivo ritardato) ⁽⁵⁵⁾ o prestare attenzione ad alcuni segnali:

- Lag basso
- Possibile exoforia (ma anche esoforia)
- VFP e ARN basse (VFN e ARP alte)
- Distanza di lettura ridotta

- Difficoltà a rilassare l'accomodazione (positivo lento evidenziato dalla letteratura sopra citata).

Ricapitolando, l'ipotesi per cui l'eccesso accomodativo si verifica nel miope ha inizio dalla distanza di lavoro ridotta. Questa implicherebbe una sovrastimolazione dell'accomodazione, che può essere rilassata tramite una distensione della convergenza (aumento di exoforia).⁽⁵⁶⁾

Può essere utile fare del training per migliorare per aumentare le vergenze, ma soprattutto per aumentare la flessibilità dell'accomodazione.

- *L'insufficienza accomodativa associata a un eccesso di convergenza (AC/A alto).*⁽⁵⁷⁾

I soggetti con insufficienza accomodativa fanno fatica a stimolare l'accomodazione e a vedere nitidamente e/o in modo confortevole a distanza prossimale (astenopia). Le caratteristiche principali sono:

- Lag alto
- Possibile esoforia
- VFP e ARN alte (VFN e ARP basse)
- Difficoltà a stimolare l'accomodazione (flipper con negativo lento)

Mentre dell'eccesso di convergenza sono:

- Lag alto
- Esoforia prossimale
- VFP e ARN alte (VFN e ARP basse)
- AC/A alto
- Flipper binoculare basso (negativo lento)
- Distanza di lettura ridotta

Il processo che porta a ricercare questo collegamento tra le due anomalie della visione parte dalla foria. Sono stati riportati uno shift verso l'esoforia con il progredire della miopia, e una progressione più veloce nei bambini con esoforia prossimale, oltre a un'accomodazione ridotta (LAG alto, ARP basse) associata anch'essa all'esoforia prossimale. Ciò porta a pensare che un bambino esoforico debba rilassare l'accomodazione per ridurre la convergenza accomodativa e mantenere allo stesso tempo la visione binoculare singola (AC/A alto). La riduzione dell'accomodazione può

produrre un defocus ipermetropico durante il lavoro da vicino, che a sua volta può innescare un aumento della miopia. ⁽⁵⁸⁾

Per eseguire una buona valutazione bisogna quindi avere informazioni riguardo:

- Dati refrattivi:
 - Per dare la correzione più adeguata.
 - Può dare indicazioni su chi diventerà miope e di quanto. Nei bambini in cui si formerà la miopia, la refrazione è meno positiva rispetto a quella di un coetaneo, inoltre prima avverrà l'insorgenza, più alta si svilupperà la miopia stessa. ⁽⁵⁹⁾

- LAG accomodativo
 - Per avere informazioni sul livello accomodativo del soggetto.

- Misura della flessibilità
 - Per controllare la flessibilità e sapere quale stress il soggetto riesce a sopportare in una condizione più simile a quella reale di tutti i giorni: lo sguardo non dovrebbe rimanere sempre fisso sullo stesso piano ma muoversi nello spazio.

- Misura della foria da vicino
 - Fornisce preziosi dati per comprendere la sopportazione visiva binoculare (rapporto con le vergenze), ma anche accomodativa

- Vergenza e accomodazione

- Distanza di lavoro
 - È soggettiva: quella di un bambino è diversa da quella di un adulto
 - Solitamente molto ridotta nei miopi (con le caratteristiche prima descritte)

Si può trarre quindi una tabella riassuntiva contenente i test più importanti che andrebbero eseguiti soprattutto tra i soggetti più giovani (bambini e studenti), ovvero alle persone con un'importante e nuovo impegno visivo prossimale in quanto, come precedentemente riportato, è una delle fasce d'età, se non l'età, in cui vi sono una maggior prevalenza e incidenza della miopia se non una progressione miopica importante (Tab. IV).

Test	Strumenti	Perché
Refrazione	Manifesta, soggettivo ritardato, cicloplegico	Determinare il giusto grado di miopia
LAG accomodativo	Nott, MEM, CC bino, Autorefrattometro a campo aperto	Risposta accomodativa
Flessibilità accomodativa	Flipper ($\pm 2,00$ D)	Abilità di eseguire variazioni di accomodazione importanti
Forie (lontano e vicino)	Forottero, barra dei prismi, Facchin Foria Card, etc...	Valutazione delle vergenze
Flessibilità di vergenza	Flipper prismatico, biprisma	Abilità di nitidezza e fusione con una variazione di 20^{Δ}
PPR	PPC, PPA, distanza di Harmon	Performance a distanza prossimale

Tabella IV: test minimi da eseguire sempre, soprattutto se si ha a che fare con la miopia; sono pochi e praticabili anche al di fuori di uno studio

Conclusioni

Al giorno d'oggi la miopia, in particolare la miopia elevata, è un'ametropia di particolare rilievo, soprattutto a causa della sua diffusione e del suo continuo e progressivo aumento. Inoltre vi sono altri aspetti ad essa correlati da non trascurare quali le ripercussioni sociali ed individuali nei soggetti che la sperimentano. In particolare, molte sono le malattie che derivano dalla miopia elevata, e se sottovalutate, possono portare a condizioni irreversibili quali l'ipovisione e la cecità.

Per questi motivi, se da un lato è importante lo studio di opportune azioni correttive, dall'altro la prevenzione ricopre probabilmente un ruolo di ancor maggiore rilevanza, nell'ottica di ridurre la probabilità che la miopia si manifesti e progredisca. È quindi indispensabile che i professionisti del settore abbiano una completa comprensione di questa ametropia, e che riconoscano non solo tutti i segnali individuabili dalle abilità visive dei pazienti, utilizzando strumenti come i test descritti in questo elaborato, ma anche altri sintomi e segni quali fastidi nel lavoro prossimale e astenopia.

La miopia non è sottovalutabile, soprattutto quando il paziente è molto giovane, come nel caso dei bambini, in quanto gli stimoli provenienti dal mondo esterno sono fondamentali per lo sviluppo visivo e cerebrale dell'individuo. Inoltre nel caso di uno sviluppo precoce di tale ametropia, è maggiore la possibilità che anche la sua entità aumenti nel tempo.

Per questo motivo si evidenzia come l'informazione dei genitori sia un passaggio fondamentale: sono importanti nella prevenzione anche i piccoli accorgimenti, quali il corretto utilizzo dei dispositivi digitali quali smartphone e tablet, la postura, l'impugnatura della penna o della matita e le distanze da mantenere durante l'esecuzione dei compiti e trascorrere più tempo possibile all'aria aperta.

Bibliografia e Sitografia

- (1) P. J. Foster & Y. Jiang; *Epidemiology of myopia*; Eye (lond); 2014; volume 28; 202 – 208
- (2) E. L. Smith III, L-F Hung & B Arumugam; *Visual regulation of refractive development: insights from animal studies*; Eye; 2014; 28; 180 – 188
- (3) Vocabolario treccani: www.treccani.it/vocabolario/miopia/
www.treccani.it/vocabolario/miope/
- (4) A. Rossetti e P. Gheller; Le anomalie refrattive; in: *Manuale di optometria e contattologia, Seconda edizione*; Zanichelli; 2003; pp 23 – 28
- (5) <https://www.aoa.org/documents/optometrists/CPG-15.pdf>
- (6) <https://www.who.int/blindness/causes/MyopiaReportforWeb.pdf?ua=1>
- (7) <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1475-1313.1993.tb00469.x>
- (8) B. A. Holden et al.; *Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050*; Ophthalmology; 2017; 124; e24 – e25
- (9) L. Li, H Zhong, J. Li, C. R. Li, CW Pan; *Incidence of myopia and biometric characteristics of premyopic eyes among Chinese children and adolescents*; BMC Ophthalmology; 2018; 18; 178
- (10) I. G. Morgan, K. Ohno-Matsui, S-M. Saw; *Myopia*; The Lancet; 2012; 379(9827); 1739 – 174
- (11) L. L. K. Lin, Y. F. Shih, C. K. Hsiao, C. J. Chen; *Prevalence of myopia in Taiwanese schoolchildren: 1983 to 2000*; Annals Academy of Medicine Singapore; 2004; 33; 27 – 33
- (12) J. Katz, J. M. Tielsch, A. Sommer; *Prevalence and Risk Factors for Refractive Errors in an Adult Inner City Population*; Investigative Ophthalmology & Visual Science; 1997; 38; 334 – 340
- (13) Q. Wang, B. E. Klein, R. Klein, S. E. Moss; *Refractive status in the Beaver Dam Eye Study*; Investigative Ophthalmology & Visual Science; 1994; 35; 4344 – 4347

- ⁽¹⁴⁾ J. M. Teikari, J. O'Donnell, J. Kaprio, M. Koskenvuo et al; *Impact of Heredity in Myopia*; Department of Ophthalmology, University of California, San Francisco, Calif., USA e Department of Public Health, University of Helsinki, Finland; 1991; 41; 151 – 156
- ⁽¹⁵⁾ V. J. Verhoeven, P.G. Hysi, R. Wojciechowski, Q. Fan, J. A. Guggenheim, R. Höhn; *Genome-wide metaanalyses of multiancestry cohorts identify multiple new susceptibility loci for refractive error and myopia*; Nature Genetics; 2013; 45; 314 – 8
- ⁽¹⁶⁾ A. K. Kiefer, J. Y. Tung, C. B. Do, D. A. Hinds, J. L. Mountain, U. Francke; *Genome-Wide Analysis Points to Roles for Extracellular Matrix Remodeling, the Visual Cycle, and Neuronal Development in Myopia*; PLOS Genetics; 2013; 9(2); e1003299
- ⁽¹⁷⁾ R. Pacella, J. McLellan, K. Grice, E. A. Del Bono, J. L. Wiggs, J. E. Gwiazda; *Role of genetic factors in the etiology of juvenile-onset myopia based on a longitudinal study of refractive error*; Optometry and Vision Science; 1999; 76(6); 381 – 6
- ⁽¹⁸⁾ D. O. Mutti, G. L. Mitchell, M. L. Moeschberger, L. A. Jones, K. Zadnik; *Parental myopia, near work, school achievement, and children's refractive error*; Investigative Ophthalmology & Visual Science; 2002; 43(12); 3633 – 3640
- ⁽¹⁹⁾ D. S. C. Lam, D. S. P. Fan, R. F. Lam, S. K. Rao, K. S. Chong, J. T. Lau; *The effect of parental history of myopia on children's eye size and growth: results of a longitudinal study*; Investigative Ophthalmology & Visual Science; 2008; 49(3); 873 – 876
- ⁽²⁰⁾ A. Ghosh, M. J. Collins, S. A. Read, B. A. Davis, P. Chatterjee; *Axial Elongation Associated with Biomechanical Factors during Near Work*; Optometry and Vision Science; 2014; 91(3); 322 – 329
- ⁽²¹⁾ J. Bao, B. Drobe, Y. Wang, K. Chen, E. J. Seow, F. Lu; *Influence of Near Tasks on Posture in Myopic Chinese Schoolchildren*; Optometry and Vision Science; 2015; 92(8); 908 – 915

- (22) K. Zadnik, D. O. Mutti; *Outdoor Activity Protects Against Childhood Myopia – Let the Sun Shine In*; JAMA Pediatrics; 2019; 173(5); 415 – 416
- (23) S. Yazar, A. W. Hewitt, L. J. Black, C. M. McKnight, J. A. Mountain, J. C. Sherwin, W. H. Oddy, M. T. Coroneo, R. M. Lucas, D. A. Mackey; *Myopia Is Associated With Lower Vitamin D Status in Young Adults*; Investigative Ophthalmology & Visual Science; 2014; 55; 4552 – 4559
- (24) A. Rossetti e P. Gheller; Le anomalie refrattive; in: *Manuale di optometria e contattologia, Seconda edizione*; Zanichelli; 2003; pp 39 – 40
- (25) Y. Sun, F. Xu, T. Zhang, M. Liu, D. Wang, Y. Chen, Q. Liu; *Orthokeratology to Control Myopia Progression: A Meta-Analysis*; Plos One; 2015; 10(6); e0124535
- (26) A. Chia, Q. S. Lu, D. Tan; *Five-Year Clinical Trial on Atropine for the Treatment of Myopia 2: Myopia Control with Atropine 0.01% Eyedrops*; Ophthalmology; 2016; 123(2); 391 – 399
- (27) L. Tong, X. L. Huang, A. L. T. Koh, X. Zhang, D. T. H. Tan, W-H. Chua; *Atropine for the Treatment of Childhood Myopia: Effect on Myopia Progression after Cessation of Atropine*; Ophthalmology; 2009; 116(3); 572 – 579
- (28) A. Rossetti e P. Gheller; Vedere con due occhi; in: *Manuale di optometria e contattologia, Seconda edizione*; Zanichelli; 2003; pp 153 – 157
- (29) A. Rossetti e P. Gheller; Vedere con due occhi; in: *Manuale di optometria e contattologia, Seconda edizione*; Zanichelli; 2003; pp 162 – 163
- (30) A. Rossetti e P. Gheller; Vedere con due occhi; in: *Manuale di optometria e contattologia, Seconda edizione*; Zanichelli; 2003; p 164
- (31) J. Jorge, J. Borges de Almeida, M. A. Parafita; *Binocular Vision Changes in University Students: A 3-Year Longitudinal Study*; Optometry and Vision Science; 2008; 85(10); E999 – E1006
- (32) D. O. Mutti, G. L. Mitchell, L. A. Jones-Jordan, S. A. Cotter, R. N. Kleinstejn, R. E. Manny, J. D. Twelker, K. Zadnik; *The Response AC/A Ratio Before and After the Onset of Myopia*; Investigative Ophthalmology & Visual Science; 2017; 58(3); 1594 – 1602

- (33) B. Drobe, R. De Saint-André; *The pre-myopic syndrome*; Ophthalmic & Physiological Optics; 1995; 15(5); 375 – 378
- (34) D. A. Goss, T. W. Jackson; *Clinical findings before the onset of myopia in youth: 3. Heterophoria*; Optometry and Vision Science; 1996; 73(4); 269 – 78
- (35) K. M. Chung, E. Chong; *Near esophoria is associated with high myopia*; Clinical & Experimental Optometry; 2000; 83(2); 71 – 75
- (36) D. A. Goss, K. L. Wolter; *Nearpoint phoria changes associated with the cessation of childhood myopia progression*; Journal of the American Optometric Association; 1999; 70(12); 764 – 8
- (37) A. Rossetti e P. Gheller; *Vedere con due occhi*; in: *Manuale di optometria e contattologia, Seconda edizione*; Zanichelli; 2003; pp 167 – 171
- (38) H. Anderson, K. K. Stuebing, K. D. Fern, R. E. Manny; *Ten-Year Changes in Fusional Vergence, Phoria, and Nearpoint of Convergence in Myopic Children*; Optometry and Vision Science; 2011; 88(9); 1060 – 1065
- (39) J. Gwiazda, K. Grice, F. Thor; *Response AC/A ratios are elevated in myopic children*; Ophthalmic & Physiological Optic; 1999; 19(2); 173 – 179
- (40) A. H. Chen, A. H. Z. Abidin; *Vergence and Accommodation System in Malay Primary School Children*; Malaysian Journal of Medical Sciences; 2002; 9(1); 9 – 15
- (41) M. Scheiman, H. Herzberg, K. Frantz, M. Margolies; *A normative study of step vergence in elementary schoolchildren*; Journal of the American Optometric Association; 1989; 60(4); 276 – 280
- (42) M. D. Wesson; *Normalization of prism bar vergences*; American Journal of Optometry & Physiological Optics; 1982; 59; 628 – 633
- (43) A. Rossetti e P. Gheller; *Vedere con due occhi*; in: *Manuale di optometria e contattologia, Seconda edizione*; Zanichelli; 2003; pp 165 – 167
- (44) J. Gwiazda, F. Thorn, R. Held; *Accommodation, Accommodative Convergence, and Response AC/A Ratios Before and at the Onset of Myopia in Children*; Optometry and Vision Science; 2005; 82(4); 273 – 278

- ⁽⁴⁵⁾ M. Rosenfield, B. Gilmartin; *Effect of a near-vision task on the response AC/A of a myopic population*; *Ophthalmic & Physiological Optics*; 1987; 7(3); 225 – 233
- ⁽⁴⁶⁾ D. O. Mutti, G. L. Mitchell, J. R. Hayes; *Accommodative lag before and after the onset of myopia*; *Investigative Ophthalmology & Visual Science*; 2006; 47; 837 – 846
- ⁽⁴⁷⁾ A. Rossetti e P. Gheller; *Vedere con due occhi*; in: *Manuale di optometria e contattologia, Seconda edizione*; Zanichelli; 2003; pp 171 – 172
- ⁽⁴⁸⁾ J. Gwiazda, F. Thorn, J. Bauer, R. Held; *Myopic children show insufficient accommodative response to blur*; *Investigative Ophthalmology & Visual Science*; 1993; 34(3); 690 – 694
- ⁽⁴⁹⁾ Qiao-Ya Lin, Han-Ying Zhou, Xue-Xi, Li; *Correlative study between myopia and ocular relative accommodation*; *International Eye Science*; 2015; 7; 1234 – 1236
- ⁽⁵⁰⁾ D. A. Goss; *Clinical Accommodation and Heterophoria Findings Preceding Juvenile Onset of Myopia*; *Optometry and Vision Science*; 1991; 68(2); 110 – 116
- ⁽⁵¹⁾ Dispense Dr. Marino Formenti, “*Analisi integrata*”, Materiale di studio per il corso di Optometria 2 presso l’Università di Padova, A.A. 2018/2019
- ⁽⁵²⁾ D. J. O’Leary, P. M. Allen; *Facility of accommodation in myopia*; *Ophthalmic Physiological Optics*; 2001; 21(5); 352 – 355
- ⁽⁵³⁾ H. Radhakrishnan, P. M. Allen, W. N. Charman; *Dynamics of Accommodative Facility in Myopes*; *Investigative Ophthalmology & Visual Science*; 2007; 48; 4375 – 4382
- ⁽⁵⁴⁾ A. Pandian, P. R. Sankaridurg, T. Naduvilath, D. O’Leary, D. F. Sweeney, K. Rose, P. Mitchell; *Accommodative Facility in Eyes with and without Myopia*; *Investigative Ophthalmology & Visual Science*; 2006; 47; 4725 – 4731
- ⁽⁵⁵⁾ A. Rossetti e P. Gheller; *Vedere con due occhi*; in: *Manuale di optometria e contattologia, Seconda edizione*; Zanichelli; 2003; p 173
- ⁽⁵⁶⁾ Dispense Dr. Marino Formenti, “*Visual stress*”, Materiale di studio per il corso di Optometria 2 presso l’Università di Padova, A.A. 2018/2019

⁽⁵⁷⁾ Marran, F. Lynn, De Land, N. Paul, Nguyen, L. Andrew; *Accommodative Insufficiency Is the Primary Source of Symptoms in Children Diagnosed With Convergence Insufficiency*; *Optometry and Vision Science*; 2006; 83(5); 281 – 289

⁽⁵⁸⁾ J. E. Gwiazda, L. Hyman, T. T. Norton, M. E. M. Hussein, W. M. Tootle, R. Manny, Y. Wang, D. Everett; *Accommodation and Related Risk Factors Associated with Myopia Progression and Their Interaction with Treatment in COMET Children*; *Investigative Ophthalmology & Visual Science*; 2004; 45; 2143 – 2151

⁽⁵⁹⁾ J. Gwiazda, K. Grice, R. Held, F. Thorn, J. Bauer; *Insufficient Accommodation and Near Esophoria: Precursors or Concomitants of Juvenile-Onset Myopia?*; *Myopia Updates*; 1998; 92 – 9