

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Fisica e Astronomia “Galileo Galilei”

Corso di Laurea in Ottica e Optometria

Tesi di Laurea

Progressione miopica: l'effetto dell'utilizzo dei dispositivi digitali in età pediatrica

Myopic progression: the effects of the use of digital devices in the pediatric age

Relatore: Prof.ssa Dominga Ortolan

Correlatore: Prof. Gianluca Ruffato

Laureando: Alberto Rosin

Matricola: 2009128

Anno accademico 2022-2023

Indice

Abstract	1
Introduzione	2
1. La miopia	3
1.1 Classificazione e sintomi	3
1.2 Prevalenza	5
1.3 Eziologia e fattori di rischio: genetica e ambiente	6
2. La progressione miopica	9
2.1 Il processo di emmetropizzazione	9
2.2 Scuola ed educazione	11
2.3 L'influenza dei dispositivi digitali	15
3. Compensare e contenere la progressione miopica	20
3.1 L'impatto della miopia sulla vita di tutti i giorni	20
3.2 La correzione della miopia e contenimento della progressione miopica	22
4. Lo studio	30
4.1 Il metodo di raccolta	30
4.2 Il campione statistico	30
4.3 La correlazione tra la miopia, i dispositivi digitali e il lavoro da vicino	34
5. Discussione e conclusioni	37
6. Bibliografia	41

ABSTRACT

PROPOSITO: analizzare l'influenza dell'utilizzo di dispositivi digitali, come smartphone, tablet e PC, e dell'attività prolungata da vicino, come leggere o studiare, nell'incidenza miopica di soggetti in età pediatrica tramite un questionario.

METODO: lo studio comprende 495 soggetti di età compresa tra i 6 ed i 16 anni frequentanti istituti comprensivi del Veneto. I dati sono stati raccolti tramite un questionario anonimo su base volontaria compilato dai genitori dei soggetti, che hanno risposto a domande sulla salute visiva del/della figlio/a e sulle abitudini di esso/a.

RISULTATI: su 495 soggetti, distribuiti omogeneamente tra maschi e femmine e con età media di $10,3 \pm 0,12$ anni, 93 sono miopi (18,8 %). Di questi, l'86% ha almeno un genitore miope e il 78,49% trascorre almeno un'ora ogni giorno utilizzando dispositivi digitali. Solo il 38,71% invece passa più di 2 ore ogni giorno a studiare o leggere. Esiste una correlazione tra miopia e l'utilizzo di dispositivi digitali, ma non necessariamente con attività da vicino come lo studio o la lettura.

CONCLUSIONI: è importante gestire il tempo di utilizzo di dispositivi digitali dei bambini per poter tenere sotto controllo la loro salute visiva.

Introduzione

La miopia è una condizione visiva che incide sulla vita quotidiana di chiunque ne sia affetto e la sua presenza nel mondo è in costante crescita, tanto che si prevede una prevalenza miopica mondiale nel 2050 del 50%. Un occhio si dice miope quando i raggi che entrano dentro la sua pupilla convergono prima del piano retinico a causa dello squilibrio tra potere dei mezzi ottici, come cornea e cristallino, e la lunghezza assiale del bulbo, che risulta quindi troppo lunga. Durante i primi anni di età l'occhio umano è ipermetrope, e con il passare del tempo si sviluppa e cresce allungandosi. Esponendo l'occhio a fattori di rischio della miopia, l'allungamento può accelerare e continuare a progredire oltre la situazione di emmetropia rendendo miope l'occhio. Per poter contrastarla, è quindi importante agire su un soggetto quando è ancora in età pediatrica, cercando così di bloccare la progressione miopica e poter consentire una buona vista da lontano lungo il corso della vita. L'insorgenza e la progressione sono multifattoriali, quindi date da più cause sia genetiche che ambientali, importanti da riconoscere per poter correggere e gestire nel modo migliore l'ametropia. Tra questi c'è il lavoro da vicino e quindi una distanza oggetto-occhio ravvicinata, una situazione in cui i bambini ci si trovano spesso a causa di studio, compiti e lettura, ma anche a causa dell'uso di apparecchi tecnologici: con l'avanzamento tecnologico ora ormai tutti possiedono uno smartphone, un tablet oppure un computer, e nell'era dei social media e dell'intrattenimento via internet i bambini utilizzano sempre di più i dispositivi elettronici nella vita di tutti i giorni, tanto che l'età del primo utilizzo è notevolmente diminuita, specialmente nell'ultimo decennio e durante la pandemia da COVID-19. Quest'ultima, soprattutto, ha causato l'instaurazione di lockdown che hanno visto le medie giornaliere di tempo di utilizzo alzarsi e quelle di tempo all'ambiente esterno diminuire, causando un'accelerazione della progressione miopica nei bambini. Esponendo quindi i bambini a questi fattori di rischio, si rischia di peggiorare la qualità di vita futura di essi: la miopia infatti, oltre a causare il peggioramento della vista da lontano, nel caso in cui essa progredisca abbastanza da diventare elevata, può causare l'insorgenza di complicazioni del fondo oculare come distacchi di retina e vitreo.

1. La miopia

La miopia è una condizione refrattiva per cui i raggi di luce provenienti da un punto oggetto posto all'infinito convergono davanti al piano retinico, causando una visione offuscata da lontano.¹ Si tratta di un'ametropia, ovvero una condizione in cui i raggi entranti nell'occhio non convergono in retina come in una situazione di emmetropia, ma o davanti (in miopia) o dietro (in ipermetropia) di essa.¹

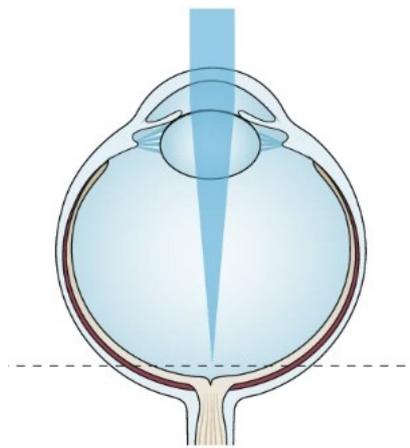


Figura 1: rappresentazione grafica del percorso dei raggi di luce entranti in un occhio miope, dove il punto focale è prima del piano retinico.²

1.1 Classificazione e sintomi

Secondo la più recente classificazione della miopia stilata da IMI (International Myopia Institute),³ essa può essere svolta su base qualitativa oppure quantitativa. La prima può avvenire in tre categorie:

- miopia assiale, lo stato refrattivo è presente a causa di una lunghezza assiale del bulbo oculare superiore a quello normale;³
- miopia refrattiva, lo stato refrattivo è presente a causa di cambiamenti dei mezzi ottici all'interno del sistema oculare, come cornea e cristallino, che rendono il potere di queste superfici troppo elevato;³

- miopia secondaria, lo stato refrattivo è presente per una causa specifica (farmaci, patologie,...) che non può essere identificata come un comune fattore di rischio della miopia.³

La miopia è riconosciuta come tale quando l'errore refrattivo del sistema oculare è uguale o superiore a -0,50 D in condizione di accomodazione rilassata. In base all'entità di quest'ultimo, si può dividere in:

- bassa miopia, quando l'errore refrattivo è compreso tra -0,50 D e -6,00 D;³
- alta miopia, quando l'errore refrattivo è superiore o uguale a -6,00 D;³

Il valore di -0,50 D per la definizione di miopia è data dalla larga preferenza da parte degli studi epidemiologici nell'utilizzare questo come limite inferiore di errore refrattivo per selezionare i soggetti da studiare.³ Per quanto riguarda l'alta miopia, il valore di -6,00 D di soglia minima è stato scelto per lo stesso motivo della misura precedente: su 59 studi sulla prevalenza dell'alta miopia, il 61% ha utilizzato $< -6,00$ D oppure $\leq -6,00$ D come valore minimo di errore refrattivo.³ Inoltre degli studi sulla perdita di vista irreversibile e non correggibile hanno evidenziato un rischio considerevolmente maggiore in occhi con un errore refrattivo di almeno -6,00 D rispetto a quello con uno minore.⁴ Non esiste quindi una ragione biologica come lunghezza assiale o potere corneale su cui basare la scelta di questo numero, infatti il valore scelto dalla WHO (World Health Organization), ovvero -5,00 D, era stato scelto perché permette una stimata acuità visiva a distanza di 6/172, un livello che soddisfa i requisiti per il riconoscimento di cecità ($< 3/60$ nell'occhio migliore).⁵ È possibile calcolare il punto più distante in cui una persona riesce a vedere nitido, ovvero il suo punto remoto, tramite la formula:⁶

$$PR = \frac{1}{D} \text{ [m]} \text{ dove PR è il punto remoto e D è l'errore refrattivo dell'occhio in diottrie.}$$

Il sintomo principale è la vista offuscata da lontano, nonostante in molti casi il soggetto non se ne accorga fino al momento di una valutazione oggettiva da parte di un professionista.⁶ L'astenopia o affaticamento oculare è un altro sintomo anche se meno

frequente, causato da uno squilibrio tra accomodazione e convergenza dato dal fatto che un miope, a distanza ravvicinata, può vedere nitido con minor accomodazione rispetto a un emmetrope.⁶ Solitamente sono presenti anche dei segni che il soggetto miope presenta anche inconsciamente come una distanza di lettura ravvicinata, per cercare di portare il testo nell'intervallo di nitidezza, e il socchiudere gli occhi quando si guarda a distanza, aumentando la profondità di campo.⁶

1.2 Prevalenza

La prevalenza globale della miopia è stimata a circa 2 miliardi di individui, il 28% della popolazione, tra cui 277 milioni affetti da miopia elevata. Questo numero è destinato ad aumentare sempre di più negli anni a venire, stimato ad arrivare fino a metà della popolazione globale nel 2050, ovvero circa 4,5 miliardi di persone, di cui addirittura 1 miliardo con miopia elevata.⁷

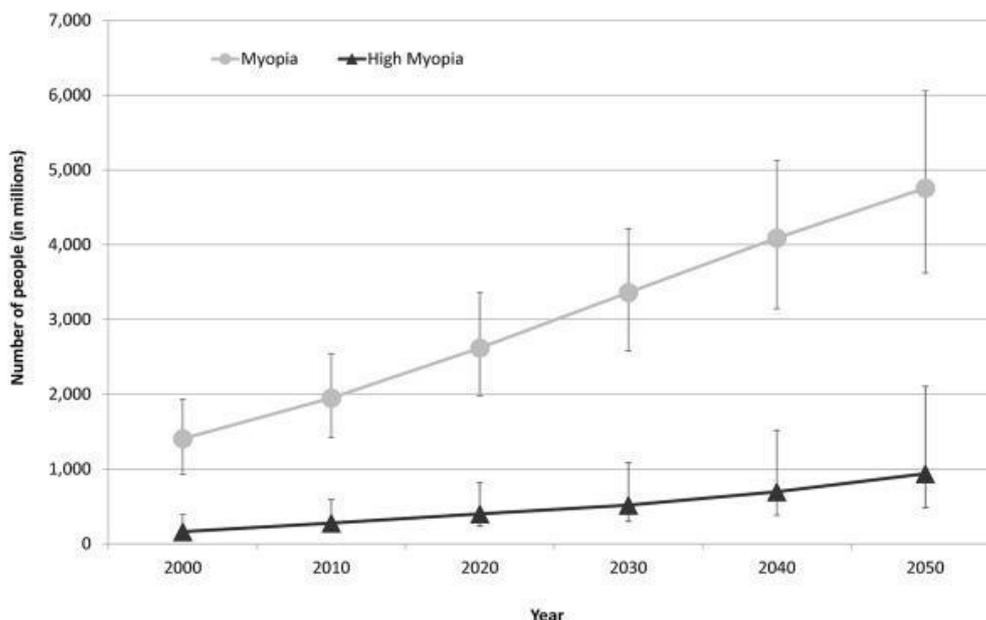


Figura 2: stima della crescita del numero di individui miopi e miopi elevati nei prossimi decenni.⁷

La regione mondiale più colpita dalla miopia risulta l'Asia, in particolare la porzione orientale e quella sud-orientale dove addirittura il 47% della popolazione è affetta da miopia, mentre in quella centrale si stima una prevalenza del 17%.⁷ Per quanto riguarda il resto del mondo, in Europa la miopia è presente nel 27% della popolazione dell'area

centrale, nel 25% di quella orientale e nel 28,9% di quella occidentale, mentre la prevalenza più alta in Africa si riscontra nei paesi centrali, circa del 7%.⁷ In particolare nell'età scolare l'Asia è sempre la regione più colpita, specialmente nelle zone urbane come la Cina, Taiwan, Corea del Sud, Singapore e Giappone^{8,9,10}, dove in quest'ultima addirittura il 94,9% degli studenti di una scuola media sottoposti a un esame visivo sono risultati miopi.¹⁰ Anche nei giovani adulti, l'Asia è sempre al primo posto, mentre si nota una sostanziale differenza tra la nuova generazione di adulti e quelli di età più avanzata: in Taiwan la prevalenza della miopia in soggetti di età compresa tra i 18 e i 24 anni è del 86,1%,¹¹ mentre in quelli con età più alta di 65 anni è solo del 19,4%.¹²

Per quanto riguarda la prevalenza della miopia nei diversi gruppi di età, i bambini fino ai 5 anni sono la categoria meno colpita, con un tasso inferiore al 5%,^{1,7} in quanto in quell'età, nella gran parte dei casi, il bambino è ancora troppo piccolo per averla sviluppata. Andando avanti con gli anni, questo aumenta sempre di più fino a un picco di poco inferiore al 30% nella categoria dai 20 ai 30 anni, per poi diminuire gradualmente fino al 14% negli over 65.^{1,7}

1.3 Eziologia e fattori di rischio: genetica e ambiente

La miopia è una condizione multifattoriale influenzata da fattori genetici e ambientali, importanti da comprendere per poter attuare strategie di controllo in modo da cercare di gestire e contenere la progressione miopica. Mentre i fattori genetici non sono modificabili, quelli ambientali come il tempo passato all'aperto e il lavoro da vicino sono più facili da gestire.

La miopia ha un fattore ereditario ormai confermato da più studi. Una meta-analisi¹³ svolta estraendo dati da studi diversi con un numero complessivo di 8393 casi provenienti da 4 continenti (Asia, Europa, Stati Uniti, Australia), di entrambi i sessi e tutti al di sotto dei 31 anni di età, con una miopia inferiore uguale o inferiore a -1,50 D, ha dimostrato come la miopia genitoriale abbia un'effettiva correlazione con il rischio di insorgenza miopica nei figli, che è addirittura maggiore quando entrambi i genitori sono miopi rispetto a quando solo uno dei due lo è.¹³ Altre analisi svolte su famiglie americane

contenenti almeno due soggetti affetti da miopia uguale o superiore a -6,00 D hanno trovato una correlazione tra i cromosomi 18p e 12q, dove quest'ultimo in particolare è stato associato all'alta miopia da uno studio dell'Università di Cardiff svolto su famiglie del Regno Unito.¹⁴ È probabile che genitori miopi, oltre a passare i geni miopici, passino anche uno stile di vita miopico al figlio, tramite educazione e passatempi che includono una distanza di lavoro ravvicinata.¹⁵

Prima del millennio corrente, le uniche prove che passare quantità di tempo significative all'ambiente esterno fosse un modo per non far insorgere la miopia erano basate sulla bassa prevalenza della condizione in aree rurali e nei lavoratori che svolgevano la propria attività all'esterno, ipotizzando che il poco uso dell'accomodazione ne fosse il motivo.^{16,17} Negli ultimi 20 anni sono stati svolti degli studi molto più concreti, i quali sono riusciti a determinare che passare dai 40 agli 80 minuti all'esterno quotidianamente riduce notevolmente l'incidenza della miopia.^{18,19} Secondo Rose et al.,²⁰ il rilascio di dopamina causato dalla luce naturale molto luminosa riesce a inibire l'allungamento assiale del bulbo. Un'altra ipotesi ha preso in considerazione il ruolo della vitamina D: si è notato come bambini e adolescenti miopi avessero dei livelli di vitamina D più basso rispetto a non-miopi,²¹ ma non è stato supportato da studi più dettagliati e specifici.

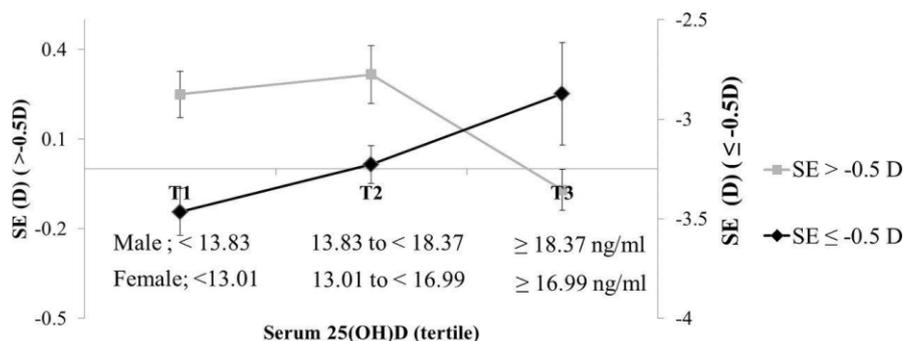


Figura 3: la concentrazione di Serum 25(OH)D medio in relazione all'errore refrattivo oculare. I soggetti miopi ($\leq -0,50$ D) presentavano livelli di vitamina D più bassi rispetto a chi non lo era ($> -0,50$ D).

Alcuni studi hanno, inoltre, provato come il tempo passato all'esterno incida non solo sull'insorgenza della miopia, ma anche sulla progressione di essa,^{22,23} in quanto sono state documentate delle variazioni del tasso di crescita del bulbo oculare in base alla

stagione dell'anno.²² Uno studio di Hagen et al.²⁴ svolto su soggetti dai 17 ai 19 anni di età norvegesi, ha studiato la prevalenza della miopia nei paesi che durante l'inverno ricevono una limitata quantità di luce solare, proprio come la Norvegia. I risultati hanno indicato una prevalenza del 16%,²⁴ simile a quella dei coetanei provenienti dall'Irlanda del Nord (18,6%)²⁵ e l'Australia (17,7%)²⁶, e addirittura più bassa della Polonia (34,1%).²⁷ È però riportato come la cultura norvegese spinga molto bambini e adolescenti a passare il proprio tempo all'esterno: durante gli anni scolastici i norvegesi passano una media tra le 2 e le 4 ore all'esterno, e il gruppo di adolescenti studiato da Hagen et al. passava in media 4 ore al giorno all'aperto.²⁴ Questo studio è stato svolto a 60°N, mentre altri studi^{28,29} più datati svolti su popolazioni di eschimesi e inuit, che vivono a circa 70°N dove durante i mesi invernali la luce solare è presente solo per 1-2 ore al giorno, ha rilevato come la prevalenza di miopia prima dell'introduzione dell'educazione formale era intorno al 2%, mentre dopo è salita drasticamente al 50%. Da questi studi si può capire come i fattori protettivi abbiano effetto solo nel momento in cui lo stile di vita è miopigenico, quindi se non si è esposti a fattori di rischio della miopia non è necessario ricorrere a soluzioni come l'aumento del tempo passato all'ambiente esterno.

2. La progressione miopica

2.1 Il processo di emmetropizzazione

Lo sviluppo dell'occhio umano comincia durante lo stato embrionale, per poi fermarsi intorno al settimo mese di gravidanza e poi riprendere nei primi giorni di vita del neonato. Alla nascita l'occhio di un neonato ha un errore refrattivo stimato intorno alle +2,00 D (± 2.75 D) di ipermetropia.⁶² Andando avanti con il tempo, l'occhio va incontro a un processo di emmetropizzazione, detto così perché l'occhio da una condizione ipermetrope cresce in dimensione e modifica le proprie strutture avvicinandosi alla condizione di occhio emmetrope. Sui 3 anni di vita, cornea e cristallino hanno già subito modifiche importanti per poter compensare le 20,00 D di potere aggiunte al sistema oculare dall'allungamento del bulbo, con il passare del tempo il cristallino si stratifica sempre di più e si assottiglia a causa dell'allungamento sull'asse equatoriale, riducendo il potere.⁶² Arrivati a circa 5/7 anni di età l'occhio presenta un errore refrattivo in un range che va da 0,00 D a +2,00 D, dove un ulteriore cambiamento dello stato refrattivo verso valori meno ipermetropici può comportare l'insorgenza della miopia.⁶² Si ipotizza che accada nel momento in cui il cristallino smette di allungarsi e assottigliarsi, e che questa sia a sua volta causata da un ispessimento del muscolo ciliare.⁶³

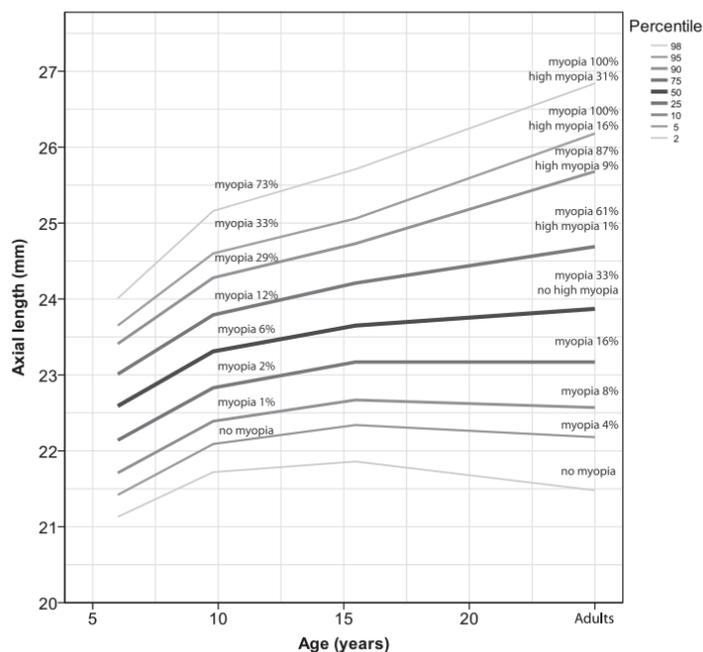
Quando il processo di emmetropizzazione si conclude il bambino dovrebbe quindi avere, a livello refrattivo, una lieve ipermetropia che garantisca una sorta di protezione dall'insorgenza miopica. Considerando questa condizione, l'International Myopia Institute introduce il termine quantitativo di pre-miopia, ovvero uno stato refrattivo in un bambino dove l'errore è compreso tra +0,75 D e -0,50 D, quindi al di sotto di quel 'cuscinetto protettivo', che combinato a età e altri fattori di rischio fornisce una probabilità significativa di insorgenza miopica.³ Tramite l'analisi tridimensionale di occhi miopi durante la progressione miopica mediante 3D MRI (Magnetic Resonance Imaging), il CLEERE (Collaborative Longitudinal Evaluation of Ethnicity and Refractive Error)⁶⁴ ha dimostrato come gli occhi destinati a diventare miopi presentino un pattern di allungamento già da qualche anno prima della presenza della miopia, e che, allo stesso

tempo, una condizione refrattiva vicina all'ipermetropia è il miglior modo per prevenire la miopia, estrapolando dei valori di soglia.⁶⁴

Età	Ametropia
6 anni	≤ +0,75 D
7 a 8 anni	≤ +0,50 D
9 a 10 anni	≤ +0,25 D
11 anni	≤ +0,00 D

Tabella 1: l'ametropia rilevata in soggetti miopi prima dell'insorgenza della stessa. Ad esempio soggetti ora miopi, a 6 anni presentavano un errore refrattivo minore di +0,75 D.⁶⁴

Una meta-analisi⁶⁵ ha invece utilizzato degli studi comprendenti 12386 bambini con età variabile tra 6 e 15 anni e adulti, per poter studiare i valori di norma della lunghezza assiale e della curvatura corneale. Ha evidenziato come l'allungamento assiale nei bambini miopi fosse notevolmente maggiore rispetto a quelli ipermetropi ed emmetropi.⁶⁵ Nei bambini affetti da miopia, l'allungamento era in media di 0,34 mm/anno, ovvero quasi il doppio di quelli emmetropi (0,19 mm/anno) e più del doppio degli ipermetropi (0,15 mm/anno), suggerendo che più miope è l'occhio, maggiore è l'allungamento del bulbo oculare.⁶⁵



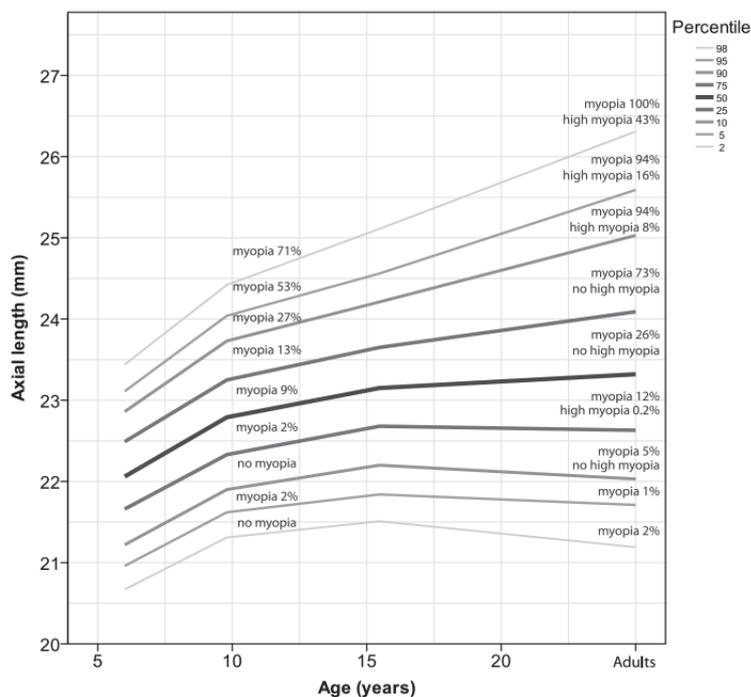


Figura 4 e 5: grafico di crescita che mostra la lunghezza assiale in correlazione all'età dei maschi (4) e femmine (5) europei dello studio, dove ogni linea rappresenta un percentile diverso. È indicata il rischio di miopia in età adulta.⁶⁵

Questo studio è riuscito quindi a fornire dei dati di riferimento per capire il rischio miopico in base ai dati biometrici dell'occhio analizzato. Come ci indicano i grafici, un occhio molto lungo già in età molto giovane, ci indica un maggiore rischio non solo di miopia ma soprattutto di miopia elevata in età adulta.⁶⁵ Riuscendo quindi a misurare precocemente un rischio di miopia alto, possiamo intervenire subito con metodi per il controllo della progressione miopica, diminuendo il rischio di sviluppo della condizione refrattiva.

2.2 Scuola ed educazione

Studiando la prevalenza a livello mondiale della miopia si nota come questa sia maggiore nelle aree urbane rispetto a quelle più rurali, le quali si differenziano tra di loro soprattutto a causa del livello di educazione scolastica. Questo ci suggerisce una correlazione fra la scuola e la progressione miopica: le prove principali di questo collegamento sono diverse: come già detto, nelle zone in cui i bambini non vanno a

scuola la prevalenza miopica è inferiore rispetto a quelle dove ci vanno, e con lo sviluppo dei sistemi educativi nazionali che portano sempre più bambini a scuola e per più tempo essa aumenta.^{30,31} L'epidemia miopica sembra inoltre più presente in nazioni con carichi di lavoro scolastico più alti rispetto alla media.³² Il livello di educazione di un soggetto è spesso un comune denominatore tra i miopi, in quanto è stato provato come gli adulti che hanno completato più anni di scuola tendono a essere più miopi,³³ proprio come i bambini o ragazzi che svolgono corsi più accademici oppure ricevono voti migliori.³⁴

Il collegamento tra studio e miopia ipotizzato è il lavoro da vicino e come viene svolto il compito a distanza prossimale. In una meta-analisi³⁵, contenente 15 studi, 10 di essi hanno avuto risultati positivi su questa ipotesi, tra cui uno svolto dal SMS (Sydney Miopia Study)³⁶ su ragazzini australiani tra i 12 e i 13 anni di età il quale ha concluso che una distanza di lettura minore di 30 cm aumenta il rischio di miopia di 2,5 volte, mentre un tempo di lettura continuo superiore a 30 minuti lo aumenta di 1,5 volte.³⁶ Inoltre uno studio dello SCORM (Singapore Cohort Study of the Risk Factors of Myopia),³⁷ comprendente 1005 bambini dai 7 ai 9 anni, ha rilevato come i bambini che leggono più di due libri a settimana hanno un rischio di miopia maggiore rispetto a quelli che ne leggono di meno.³⁷ I restanti 5 studi non hanno invece trovato una differenza significativa tra chi lavorava di più da vicino e chi no. In uno studio³⁸ comprendente 1892 bambini in Cina, i bambini miopi non passavano più tempo a fare i compiti, guardare la TV o a leggere libri rispetto ai non-miopi.³⁸ Addirittura, in un altro studio di Rose et al.³⁹ che comparava bambini cinesi che vivevano a Sydney e che vivevano a Singapore, ha rilevato come il primo gruppo, che aveva solo una prevalenza miopica del 3,3%, spendeva addirittura più tempo in attività che richiedono una distanza di lavoro o di lettura bassa rispetto al gruppo di Singapore che aveva una prevalenza del 29,1%.³⁹ È importante però considerare che il tempo passato a vedere da vicino non è l'unico fattore da valutare, ma anche le condizioni ambientali in cui ci si trova come luminosità dell'ambiente e l'effettiva distanza di lavoro: per quanto riguarda quest'ultima, uno studio di Quek et al.⁴⁰ ha evidenziato un aumento di rischio miopico del 80% in persone che leggevano a una distanza minore di 30 cm rispetto a chi leggeva a una distanza maggiore,⁴⁰ e similamente Ip et al.⁴¹ hanno riscontrato un aumento del 250% nei

bambini.⁴¹ Il punto a sfavore di questi studi è il metodo di raccolta dati che è avvenuto tramite dei questionari, però un altro studio di Wen et al.⁴² svolto su 86 bambini cinesi di 10 anni utilizzando ClouClip, ovvero un sensore a infrarossi montabile sulle aste degli occhiali in grado di misurare la distanza di lettura e la luminosità dell'ambiente, ha rilevato come i bambini miopi passassero in media più tempo quotidianamente a eseguire attività con una distanza di lavoro inferiore a 20 cm.⁴² Nell'analisi della luminosità ambientale, è emerso che i bambini non miopi passassero più tempo sotto l'esposizione di un'intensità di luce maggiore a 3000 lux e 5000 lux.⁴² Secondo degli studi, livelli di luminosità simili a quelli della luce che si trova nell'ambiente esterno sono fattori di protezione verso la miopia, mentre livelli inferiori possono risultare rischiosi per l'incidenza di essa: uno studio effettuato su polli esposti a cicli di 12 ore a luce con 50 lux di intensità e buio, ha dimostrato come livelli così bassi di luminosità siano nocivi per l'emmetropizzazione.⁸⁴ Al contrario, un altro studio che prevedeva un'esposizione ad alti livelli di luminanza (15000 lux) per 6 ore al giorno ha provato un rallentamento dello sviluppo della miopia del 60%.⁸⁵ Anche il tempo di esposizione alla luce ha influenza sull'insorgenza e progressione della miopia: una continua esposizione durante la giornata è stata provata a essere più efficace sull'inibizione dell'allungamento assiale rispetto a un'esposizione di 2 ore al giorno.⁸⁶ Il tipo di illuminazione cui viene esposto l'occhio è un ulteriore fattore chiave sugli studi della correlazione tra miopia e luminosità. Degli studi effettuati sempre su polli, hanno dimostrato come la luce rossa, con una frequenza d'onda compresa tra 615 nm e 641 nm, abbia un effetto miopico sul sistema oculare.⁸⁷ La luce blu ed UV, rispettivamente con frequenza d'onda 430-477 nm e 375 nm, hanno invece degli effetti ipermetropici.⁸⁷ Quest'ultimo è stato provato anche in altri animali come pesci,⁸⁸ porcellini d'India⁸⁹ e scimmie,⁹⁰ anche se alcuni studi su queste ultime hanno dimostrato il contrario.⁹¹ Questo può essere dato da differenze nei tempi di esposizione nei diversi studi ma anche dalle diverse strutture dei fotorecettori nelle specie.⁹²

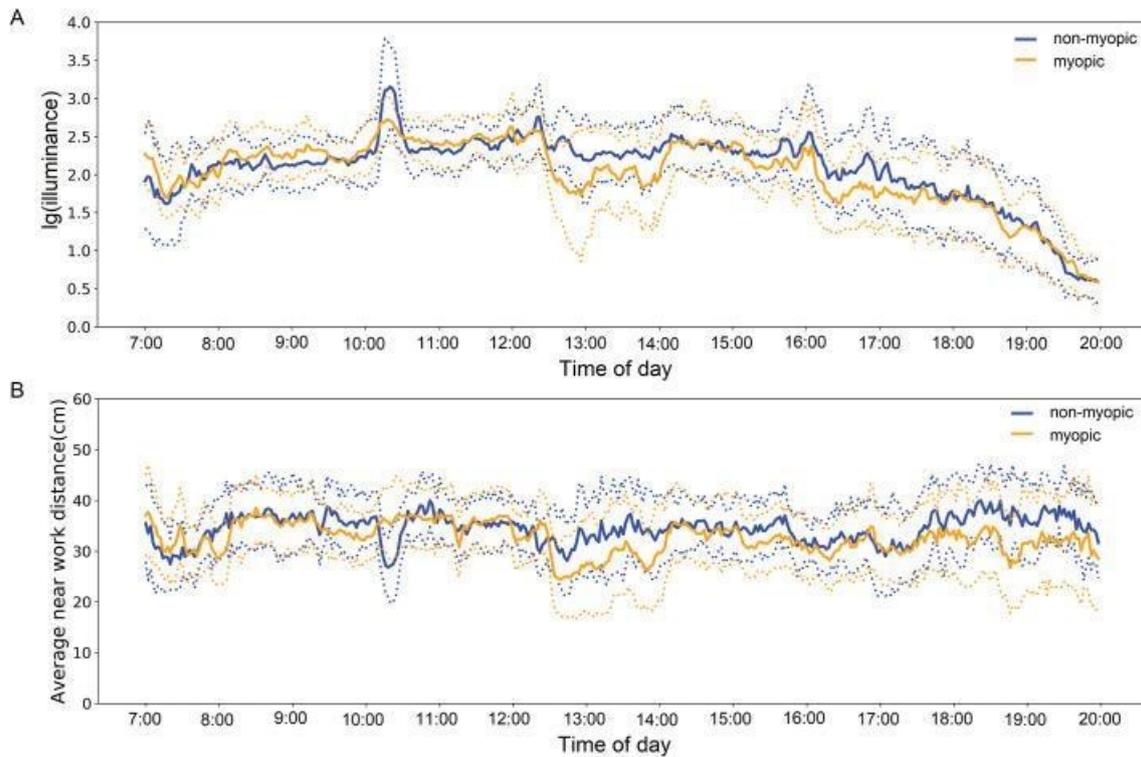


Figura 6: rappresentazione grafica della media della luminanza (sopra) e della distanza di lavoro durante le attività da vicino (sotto) di miopi (arancione) e non miopi (blu) durante il corso di una giornata. La luminanza media cui sono esposti i non miopi è spesso più alta di quella cui sono esposti i miopi, mentre la distanza di lavoro da vicino media è più bassa nei miopi.⁴²

Quando guardiamo da vicino, per poter portare l'immagine a fuoco in retina si attiva l'accomodazione, stimolata dalla coscienza della prossimità dell'oggetto e dalla percezione sfocata di esso: il muscolo ciliare si contrae avvicinando il corpo ciliare al cristallino, allentando la tensione applicata sulla zonula di Zinn e risultando nell'aumento di curvatura del cristallino e l'aumento del potere diottrico di esso. È ipotizzato che durante il processo di accomodazione verrebbero rilasciati dei mediatori chimici che causerebbero delle modifiche biochimiche nella retina e successivamente nella corioide e sclera, portando a un allungamento del bulbo.²² Questa ipotesi si rafforzerebbe grazie agli studi che dimostrano come l'atropina, ovvero un antagonista dei recettori muscarinici e quindi un cicloplegico (un farmaco che blocca l'accomodazione), diminuisca la crescita bulbare, tanto da renderla utilizzabile per il controllo della progressione miopica.⁴³ Alcuni studi, però, ipotizzano che il blocco dell'aumento della lunghezza assiale del bulbo avvenga perché l'atropina agisce su recettori non-

muscarinici^{44,45}, e altri hanno dimostrato come l'accomodazione non abbia nulla a che fare sugli effetti del farmaco.⁴⁶ Nonostante ciò, ci sono ricerche che dimostrano il ruolo dell'accomodazione nello sviluppo refrattivo del bulbo nelle prime fasi.⁴⁷

2.3 L'influenza dei dispositivi digitali

Nel nuovo millennio la tecnologia e internet si sono sviluppati sempre di più e di conseguenza diffusi sempre di più. Se prima era un lusso possedere un telefono cellulare, ora è la totale normalità e se non se ne ha uno è difficile rimanere a contatto con il mondo di oggi. Questo discorso non vale solamente per gli smartphone, ma si estende anche ad altri tipi di dispositivi digitali, come PC, laptop, tablet e consolle di videogiochi. In particolare, l'età del primo utilizzo di un dispositivo digitale si è abbassata notevolmente, arrivando anche sotto i 3 anni di età. Come già dimostrato, il lavoro da vicino è un fattore di rischio della miopia, e l'utilizzo di dispositivi come smartphone, PC e tablet lo prevedono, facendo ipotizzare che esso sia correlato alla progressione miopica. Con lo sviluppo e la diffusione dei dispositivi digitali è avvenuto anche un aumento della prevalenza della miopia, e le aree più urbanizzate, che hanno di conseguenza una diffusione di questi dispositivi più alta, sono quelli più affetti da miopia.

Una meta-analisi condotta da Lanca e Saw⁴⁸ ha riportato come non ci sia una chiara correlazione fra la miopia e il tempo di utilizzo di dispositivi digitali, in quanto metà degli studi che hanno utilizzato ne trovavano una, mentre l'altra metà no, rendendo i risultati misti.⁴⁸ Gli studi utilizzati da Lanca e Saw però erano pochi (solo 15), prevedevano un'auto-segnalazione del tempo passato davanti agli schermi, che quindi poteva essere non attendibile e nessuna prova dell'aumento del lavoro da vicino, ovvero poteva essere il caso che il tempo di utilizzo di telefoni, PC o tablet rimpiazzasse quello passato davanti ai libri a leggere o studiare,⁴⁹ ed inoltre non erano presi in considerazione altri fattori sull'utilizzo come distanza di lavoro e luminosità. Un'altra meta-analisi ha riportato come ci sia letteratura insufficiente e conflittuale ma che è normale visto la recente introduzione di questo argomento, e come però gli studi utilizzati da loro provino una correlazione tra l'esposizione a schermi digitali e miopia.⁵⁰ Uno di questi⁵¹ registrava

l'età del primo utilizzo di uno smart device, e ha trovato come un'adozione di questi dispositivi in età molto giovani (<2 anni) aveva una forte correlazione con il rischio miopico.⁵¹ Lo studio GUSTO (Growing Up in Singapore Towards healthy Outcomes),⁵² invece, ha associato ogni ora di utilizzo giornaliero a un aumento di 0,7 mm della lunghezza assiale del bulbo e un aumento marginale del potere sferico oculare, suggerendo che bambini con un tempo di utilizzo maggiore sono più a rischio di miopia incidente ma, siccome lo studio comprendeva bambini con non più di 3 anni di età, sono troppo giovani per essere miopi.⁵² Similmente, in uno studio condotto da Alvarez-Peregrina et al.⁵³ in Spagna nel corso di tre anni diversi (2016, 2017, 2019) su bambini di 5, 6 e 7 anni è stata riscontrata un'alta correlazione solo nel gruppo più vecchio, causato dal fatto che il tempo passato utilizzando dispositivi digitali era nettamente superiore rispetto alle altre due categorie. L'errore refrattivo oculare, infatti, era più miopico aumentando il tempo di screentime, confermando l'utilizzo eccessivo di dispositivi digitali come fattore di rischio per l'insorgenza della miopia.⁵³

Use of electronic devices	<25%	Between 25 and 50%	>50%	Total
5 years	1.00 ± 2.25	1.08 ± 2.12	0.90 ± 2.13	0.99 ± 2.18
6 years	0.86 ± 2.09	0.87 ± 1.93	0.78 ± 1.95	0.83 ± 1.99
7 years	0.85 ± 1.88	0.68 ± 2.02	0.59 ± 1.98	0.79 ± 1.96

Tabella 2: correlazione tra errore refrattivo oculare e il tempo di utilizzo dei dispositivi elettronici rispetto al tempo totale di attività da vicino, per anno di età. Nella categoria dei 7 anni di età, con l'aumentare del tempo passato davanti ai dispositivi digitali aumenta la tendenza verso la miopia dell'errore refrattivo.

Altri due studi condotti nella zona nord dell'India hanno avuto ulteriori prove molto forti sulla correlazione tra miopia e tempo di utilizzo. Quello condotto da Singh et al.⁵⁴ ha rilevato che un tempo di screentime maggiore di 2 ore al giorno avesse un rapporto di probabilità della miopia 8,33 volte più alto rispetto a uno inferiore alle 2 ore al giorno.⁵⁴

L'altro studio, condotto da Saxena et al.,⁵⁵ ha invece calcolato un rapporto di probabilità pari a 8,10 per chi ha un tempo di utilizzo superiore a 4 ore al giorno.⁵⁵

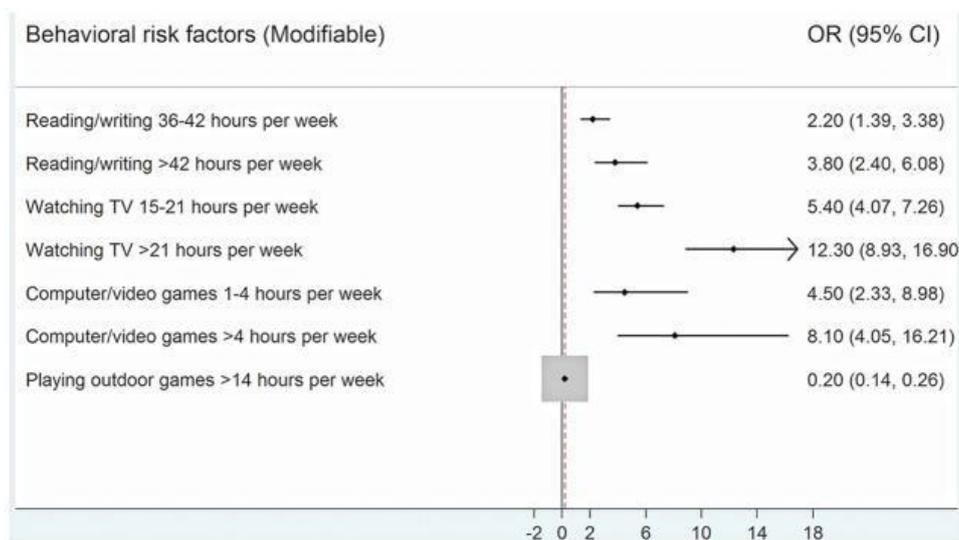


Figura 7: il rapporto di probabilità (95% CI) di ogni fattore di rischio aggiustato rispetto ad altri fattori di rischio e variabili demografiche.⁵⁵

Nel dicembre 2019, un nuovo coronavirus di tipo SARS (Severe Acute Respiratory Syndrome) denominato COVID-19 si è diffuso in Cina e successivamente in tutto il mondo. Nel marzo 2020 la WHO ha dichiarato lo stato di pandemia, che ha visto l'introduzione di lockdown in buona parte dei paesi, costringendo milioni (se non miliardi) di bambini a rimanere confinati a casa, senza alcuna possibilità di andare all'aperto o di andare a scuola. La didattica è stata convertita a una modalità online, aumentando significativamente il numero di ore di screentime giornaliere dei bambini: le ore passate davanti ai dispositivi digitali sono state in media 3,91 ogni giorno nello studio di Liu Ji et al.⁵⁶ mentre quello di Ma et al.⁵⁷ ha rilevato un uso di 2,43 +/- 2,19 h/giorno sommata a 1,94 +/- 1,05 h/giorno di lezioni e studio online, valori nettamente più alti rispetto a quelli pre-COVID, che si aggirano intorno alle 1,42 +/- 1,77 h/giorno.⁵⁷ Questo numero elevato di ore davanti agli schermi combinato con la riduzione delle ore passate all'ambiente esterno ha creato una preoccupazione sull'aumento del rischio di miopia mondiale. Gli studi condotti hanno confermato queste paure: Wang et al.⁵⁸ hanno riscontrato un aumento della prevalenza miopica del 10,49% nel 2020 rispetto al

2019, mentre uno studio svolto in India da Mohan et al.⁵⁹ ha rilevato una prevalenza miopica del 62,4% nel 2020 rispetto al 45,9% del 2019.⁵⁹ Anche il ritmo della progressione miopica è aumentato, addirittura di 3 volte rispetto al periodo pre-COVID, ovvero da -0,3 D/anno a -0,9 D/anno,⁵⁷ e in particolare nel periodo di quarantena l'allungamento del bulbo è stato più veloce del 35%, da 0,033 mm/mese a 0,046 mm/mese.⁶⁰ I dispositivi che riscontravano un aumento della progressione miopica erano cellulari, tablet e laptop, ovvero dispositivi che si utilizzano a una distanza molto ravvicinata, mentre altri come la TV non erano collegabili alla progressione miopica.^{56,58,61} Si può quindi confermare come l'utilizzo di dispositivi digitali, specialmente quelli con uno schermo più piccoli che necessitano di una distanza di utilizzo ravvicinata, siano un fattore di rischio della miopia.

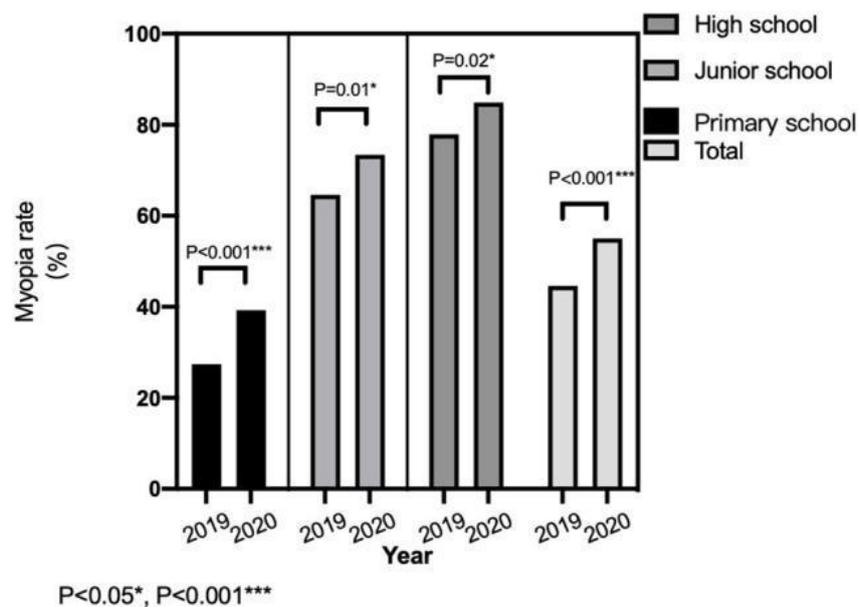


Figura 8: la prevalenza di miopia differenziate per età tra il 2019 ed il 2020, dopo il periodo COVID-19.⁵⁸

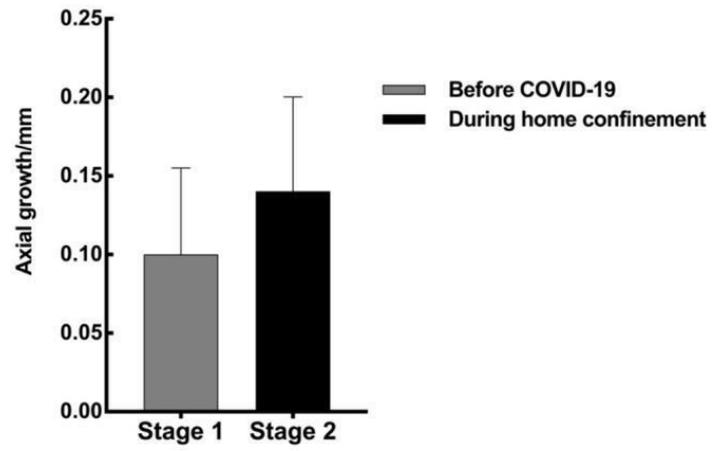


Figura 9: la differenza del ritmo di allungamento assiale prima e dopo la quarantena per COVID-19 del 2020.⁶⁰

3. Compensare e contenere la progressione miopica

3.1 L'impatto della miopia sulla vita di tutti i giorni

La compromissione della visione da lontano può avere delle conseguenze importanti sulla vita quotidiana di un miope: lavorare, guidare, fare sport sono solo alcune delle attività che possono risultare difficili da svolgere quando si è affetti da miopia. Questi sintomi visivi combinati con l'insorgere di quelli da stress oculare come secchezza, bruciore, prurito, mal di testa o stanchezza visiva,^{1,66} possono abbassare notevolmente la qualità di vita di un miope non corretto. Già dalla giovane età questo può accadere, ai bambini miopi infatti risulta difficile restare attenti a scuola perché non riescono a vedere la lavagna, ma anche quando corretta la miopia può incidere sulla vita di una persona, specialmente nei casi di miopia elevata: nonostante i sintomi visivi siano stati risolti aumentando così la qualità di vita, c'è la possibilità che l'utilizzo di lenti oftalmiche spesse, come viene fatto in questi casi, possa abbassare significativamente l'autostima di una persona^{66,67} rendendo difficile il relazionarsi con nuove persone e compromettendo quindi la vita sociale. Anche se si ricorre all'utilizzo di lenti a contatto per la correzione della miopia, si può in certi casi non assistere a un rilevante aumento della qualità della vita, in quanto queste possono causare complicazioni e fastidi e richiedono un'attenzione particolare per la loro applicazione.⁶⁷ La correzione della miopia per via chirurgica, infine, può portare a più problemi di quanti non se ne avessero prima: questa infatti può dare degli effetti indesiderati come secchezza oculare e riflessi luminosi, non eliminando quindi i sintomi visivi e da stress oculare, e inoltre un'eventuale progressione miopica riproporrebbe il problema della miopia anche negli anni successivi all'intervento.⁶⁸ È importante notare come queste conseguenze alla correzione della miopia non accadano sempre ma solo in piccola parte, evidenziando però come sia importante evitare di facilitare l'insorgenza della miopia in un soggetto per poter definitivamente eliminare il rischio che questi effetti si avverino.

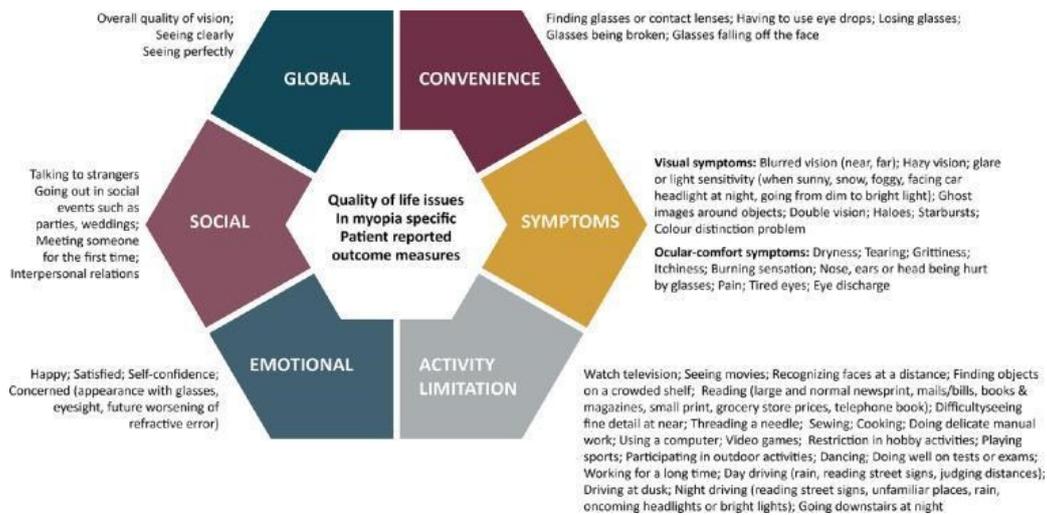


Figura 10: rappresentazione grafica distinta per categorie dei fattori di qualità di vita su cui la miopia può incidere.⁶⁶

L'impatto economico della miopia è un aspetto che non deve essere sottovalutato e non si limita solamente al costo di occhiali o lenti a contatto. Si può analizzare dal punto di vista economico suddividendolo in due categorie principali: costi diretti e costi legati alla perdita di produttività.⁶⁶ La prima categoria include le spese per la correzione visiva, le visite per la diagnosi optometrica, i follow-up e i costi di trasporto associati. La seconda categoria comprende il tempo impiegato per le visite e per l'acquisto di occhiali o lenti a contatto, il che porta a una riduzione della produttività sia a casa che sul luogo di lavoro.⁶⁶ Uno studio condotto a Singapore nel 2006 su persone miopi di età compresa tra i 12 e i 17 anni ha rivelato che la spesa media annuale per i costi diretti ammonta a circa US \$148,61.⁶⁹ Tuttavia, per le persone miopi con un'età superiore ai 40 anni, la spesa media annuale raggiunge i US \$709.⁶⁹ Questo aumento dei costi è principalmente dovuto alle spese necessarie per affrontare le complicazioni legate alla miopia, che tendono a manifestarsi in età avanzata.⁶⁹ In media, una persona che vive con la miopia per un periodo di 80 anni spende circa US \$17020 per correggere la sua condizione, con un aumento progressivo dei costi in relazione all'età.⁶⁹

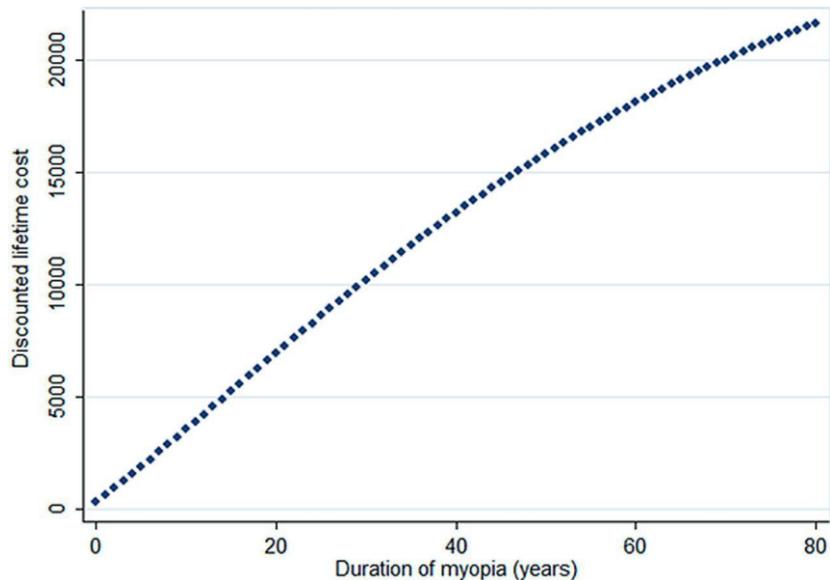


Figura 11: la media dei costi cumulativi della miopia in relazione all'età.⁶⁹

3.2 La correzione della miopia e contenimento della progressione miopica

Il metodo di correzione della miopia non è uguale per tutti ma dipende da persona a persona in base alle loro abitudini, alle loro necessità e ai loro parametri oculari. Ad esempio, un cuoco molto probabilmente non si troverà bene utilizzando delle lenti oftalmiche come una persona che lavora in ufficio avrà fastidio a portare le lenti a contatto per molte ore, allo stesso modo però c'è chi ci riesce ed è per questo che è importante saper ritagliare la soluzione giusta a ogni soggetto. Soprattutto nelle età più giovani invece, dove è ancora possibile contrastare l'insorgenza e l'eventuale progressione della miopia, è importante scegliere la propria strategia con cautela per poter evitare il peggioramento permanente della vista da lontano del bambino.

Il metodo standard di correzione della miopia è l'utilizzo di occhiali con lenti oftalmiche negative mono-focali, altrimenti l'utilizzo di lenti a contatto dello stesso tipo, ma questo tipo di strategia ottica induce però un fenomeno ottico detto defocus ipermetropico.⁷¹ In una condizione di defocus, i raggi entranti nel sistema oculare non convergono al livello della retina, ma prima nel caso di defocus miopico o dopo in quello di defocus ipermetropico. Durante l'utilizzo di lenti oftalmiche o a contatto monofocali, quindi, i raggi parassiali andranno a convergere in fovea mentre quelli marginali non andranno a

convergere sulla retina periferica ma dopo di essa, provocando una differenza di nitidezza di immagine tra il centro e la periferia, dove quest'ultima sarà notevolmente peggiore.⁷¹ L'occhio, a sua volta, aumenterà la propria lunghezza assiale per poter portare questa convergenza all'altezza della retina. Questa è una delle ipotesi più accreditate come causa per l'aumento della lunghezza assiale del bulbo oculare, confermata da diversi studi condotti su animali, tra cui polli e scimmie,^{72,73} centrando la ricerca di strategie per il controllo della progressione miopica su questo principio.

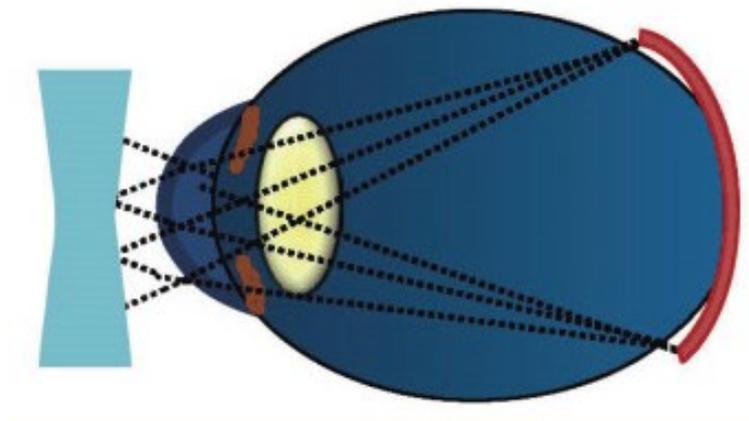


Figura 12: l'insieme dei punti focali non segue la retina, ma spostandosi in periferia si va oltre il piano retinico.⁷⁴

La produzione di lenti asferiche, ovvero che variano il loro raggio di curvatura dal centro alla periferia, pensate per diminuire il defocus ipermetropico e renderlo miopico, non ha prodotto risultati abbastanza significativi per considerarli come un'alternativa valida per il controllo della progressione della miopia^{75,76} a differenza delle lenti DIMS (Defocus Incorporated Multiple Segments). Queste sono lenti con una zona ottica centrale di diametro 9mm, per la correzione del difetto visivo da lontano, ed una zona concentrica contenente delle altre zone molto piccole (1mm di diametro) di potere +3,50 D.⁷⁷

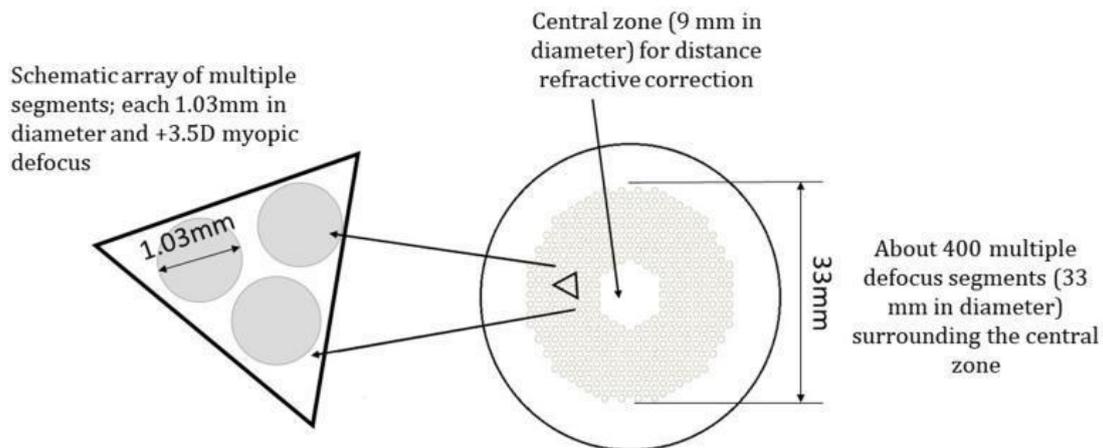


Figura 13: rappresentazione grafica della struttura delle lenti DIMS. La zona ottica centrale e la estrema periferia hanno un potere costante, mentre la zona della media periferia è composta da numerose piccole zone di potere +3,50 D.⁷⁷

Uno studio della durata di 2 anni condotto da Lam et al.,⁷⁷ ha diviso 183 soggetti da 8 ai 13 anni di età in due gruppi, uno che avrebbe utilizzato lenti DIMS, composto da 93 persone, e un altro di controllo che avrebbe utilizzato lenti mono-focali, composto da 90 persone. Alla fine dello studio, i risultati hanno rilevato una diminuzione della progressione della miopia di circa 0,44 D, e un accorciamento del bulbo oculare di 0,34 mm. Questo indica un rallentamento dell'accrescimento della lunghezza assiale del 62%.⁷⁷

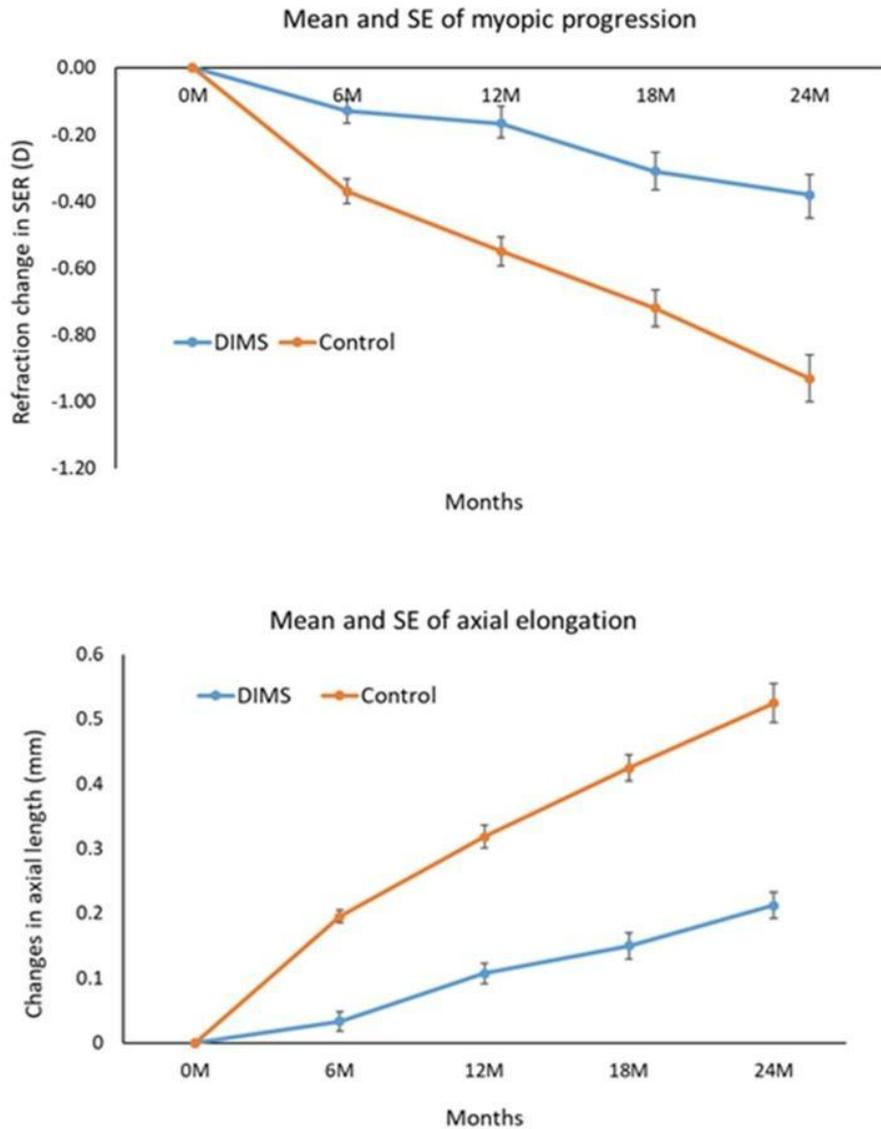


Figura 14: il primo grafico rappresenta la variazione del potere diottrico del sistema oculare medio nei due gruppi, mentre il secondo rappresenta la variazione della lunghezza assiale media.⁷⁷

Un'alternativa al porto di occhiali per il controllo della miopia tramite la gestione del defocus ipermetropico è l'utilizzo di lenti a contatto multifocali oppure ortocheratologiche. Le lenti a contatto multifocali hanno una zona da lontano, comunemente posta in zona centrale, e una zona con un potere più positivo rispetto a quello per lontano posta in zone concentriche o con un potere gradiente. Uno studio condotto ad Hong Kong, il quale ha coinvolto 221 bambini tra gli 8 e i 13 anni con una miopia compresa tra -1,00 D e -5,00 D e un astigmatismo uguale o inferiore a -1,00 D, ha distribuito casualmente lenti a contatto morbide monofocali e multifocali DISC.

Queste ultime sono lenti caratterizzate da un design a lenti concentriche in un rapporto parziale 50:50, alternando una zona da lontano e una zona più positiva di 2,50 D, consentendo un defocus miopico periferico. I bambini che hanno utilizzato queste lenti hanno riscontrato una progressione miopica di $0,59 \pm 0,49$ D e un allungamento bulbare di $0,25 \pm 0,23$ mm, minore rispetto al gruppo che ha utilizzato lenti a contatto monofocali che invece hanno riportato una progressione miopica di $0,79 \pm 0,56$ D e un aumento della lunghezza assiale di $0,37 \pm 0,24$ mm. Nel gruppo DISC è emerso che il rallentamento della progressione miopica avviene con un porto giornaliero di almeno 5 ore, raggiungendo addirittura il 58% a 7 ore, e rimanendo stabile dopo le 8 ore.⁷⁸

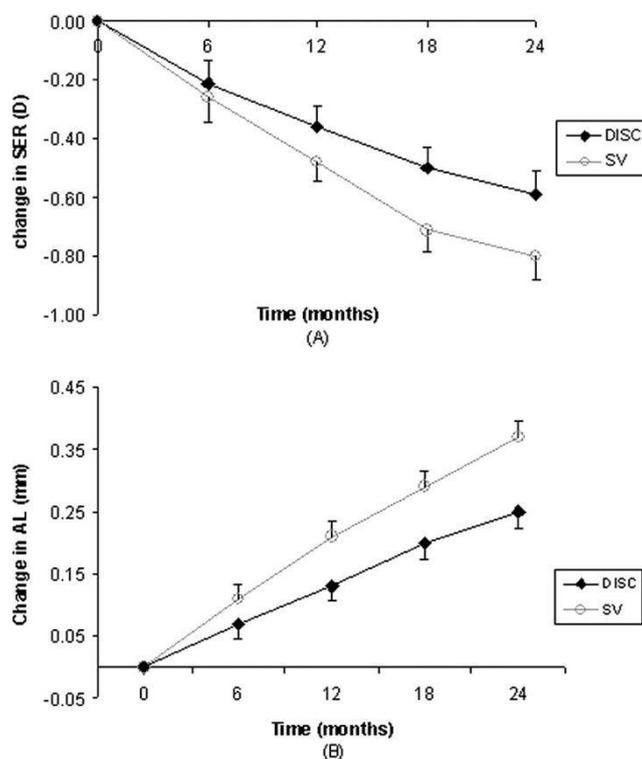


Figura 15: in alto la variazione del potere diottrico in relazione ai mesi, in basso l'allungamento assiale del bulbo oculare. In entrambi i grafici si vede come il gruppo che ha portato le lenti monofocali abbia avuto una progressione maggiore.⁷⁸

Le lenti EDOF (Extended Depth Of Field) sono lenti a contatto che forniscono un'alta profondità di fuoco utilizzando combinazioni di aberrazioni ad alto ordine, allungando così il punto focale creando distribuzioni di potere uniche. In uno studio⁹³ svolto in Cina su 95 bambini con età compresa tra i 7 ed i 13 anni, errore refrattivo da -0,75 D a -3,50

D ed un astigmatismo inferiore a 0,75 D, è stato studiato l'effetto di lenti EDOF sulla progressione miopica: il campione statistico è stato diviso in 3 gruppi, uno dei quali prevedeva un primo step in cui il bambino avrebbe indossato lenti EDOF o monofocali, ed un secondo in cui le lenti sarebbero state scambiate, quindi chi ha portato le EDOF nel primo step avrebbe portato le monofocali nel secondo e viceversa. I risultati hanno riportato un rallentamento dell'allungamento del bulbo di 0,10 mm (63%) e una differenza di potere di 0,16 D (rallentamento del 39%) solo nei primi 6 mesi. Alla fine dei due anni, il rallentamento dell'allungamento era del 25% e dell'aumento di potere oculare del 32%.⁹³

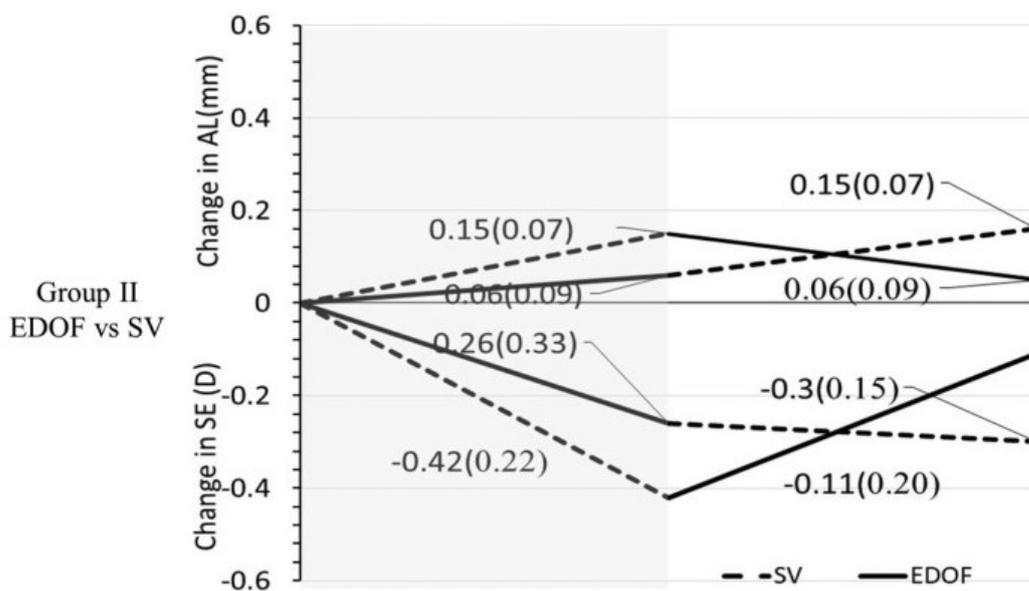


Figura 16: rappresentazione grafica dell'allungamento bulbare medio (sopra) e della variazione dell'errore refrattivo (sotto) alla fine dei 6 mesi.⁹³

Le lenti ortocheratologiche invece sono lenti di tipo RGP (rigide gas permeabili) in fluoro-silicone/acrilato, le quali sono realizzate con polimeri che permettono una alta diffusione dell'ossigeno grazie al buon ricambio lacrimale. La geometria delle lenti per ortocheratologia è detta "a geometria inversa". Esse sono costituite da diverse zone: zona ottica, zona di inversione, zona di allineamento e zona periferica di disimpegno. Non c'è una spiegazione definitiva sul funzionamento di queste lenti. Le ipotesi hanno tutte a che fare con i giochi di forze che agiscono sulla superficie corneale. Una prima ipotesi è la forza generata dalla geometria della lente. Le modifiche corneali avvengono grazie alle forze positive (nella zona ottica) e negative (nella zona d'inversione) che

agiscono direttamente sull'epitelio e le sue cellule. Queste forze causano una migrazione delle cellule epiteliali corneali, specialmente quelle della zona ottica/centrale verso la zona periferica.⁷⁹ Questa ipotesi va però contro la nostra conoscenza delle cellule epiteliali, la quale dice che queste siano saldamente attaccate le une alle altre. Altrimenti, esiste l'ipotesi delle forze compressive della lente a contatto sull'epitelio, che causerebbero una modificazione delle cellule epiteliali senza provocare la migrazione di esse.⁸⁰ Altre teorie comprendono il trasferimento di materiale organellare dovuto dalla pressione esercitata dalla lente⁸⁰ oppure la modificazione di processi apoptotici delle cellule epiteliali nelle zone periferiche.⁸¹

Il primo studio sull'ortocheratologia e la progressione miopica fu il LORIC (The Longitudinale Orthokeratology Research in Children):⁸² 70 bambini tra i 7 e i 12 anni, tutti con una miopia compresa tra -0,25 D e -4,50 D e un astigmatismo minore di -2,00 D sono stati divisi in due gruppi, dove uno è stato sottoposto ad ortocheratologia e l'altro all'utilizzo di una correzione oftalmica. I risultati furono a favore del primo gruppo, in cui venne riscontrato un incremento assiale di 0,29 mm contro i 0,54 mm del secondo.⁸²

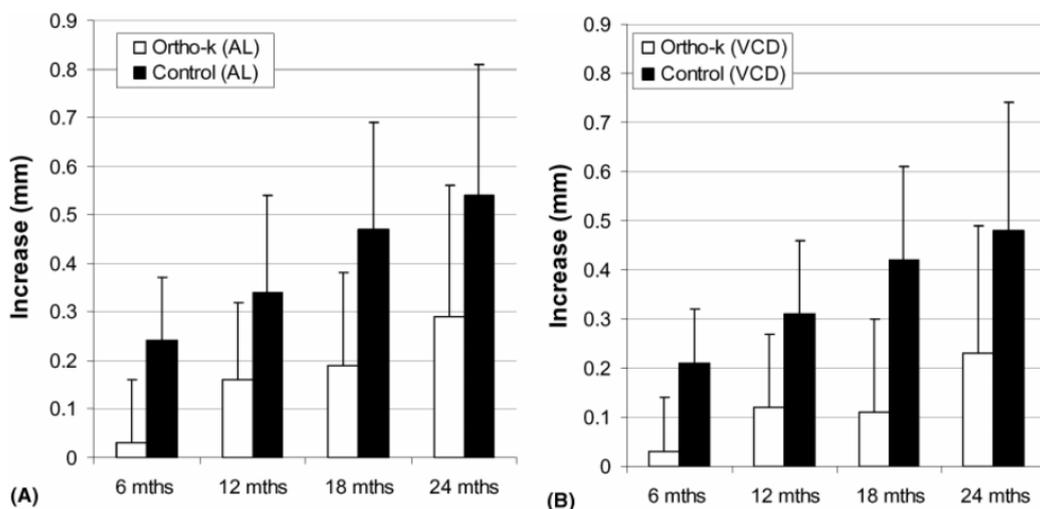


Figura 17: l'incremento di lunghezza assiale e della camera vitrea in relazione ai mesi passati dall'inizio dello studio LORIC, con un intervallo di 6 mesi.⁸²

Un altro studio condotto in Cina, sempre della durata di 2 anni, il quale ha incluso anche miopie elevate fino a -10,00 D, ha utilizzato i registri medici di 65 bambini utilizzando lenti

ortocheratologiche e 63 bambini utilizzando lenti oftalmiche monofocali. Nel primo anno è stata riscontrata una riduzione dell'allungamento del bulbo nei pazienti ortocheratologici del 59% (0,16 mm e 0,39 mm), mentre nel secondo anno del 50% (0,34 mm e 0,70 mm). Lo studio ha evidenziato come l'entità della miopia non cambi la differenza di allungamento, ma anzi che questa rimanga simile per tutti.⁸³

4. Lo studio

4.1 Metodo di raccolta dati

La raccolta dati di questo studio è avvenuta tra ottobre e novembre 2023 tramite un questionario anonimo sottoposto ai genitori di studenti di diversi istituti comprensivi del Veneto, tra cui Castelfranco Veneto 1 (TV) e Valdagno (VI). Il consenso per la distribuzione è stato dato dagli istituti stessi, che si sono occupati anche della distribuzione di un link Google Form a tutte le famiglie degli studenti contenente il questionario, nel quale è specificata la raccolta dati e la trattazione ai sensi del regolamento GDPR 679/2016. L'unico criterio di selezione è l'età del bambino che deve essere compresa tra i 6 ed i 16 anni, la quale viene chiesta insieme al sesso biologico del bambino nelle prime due domande. La prima sezione tratta la salute oculare del bambino (porto di occhiali o lenti a contatto, condizione refrattiva), la frequenza di visite visive e anche la tipologia del professionista che ha svolto l'ultima. La seconda invece si concentra sull'esposizione ai fattori di rischio del bambino: la genetica, quindi se i genitori sono miopi o meno, il tempo passato all'aria aperta e a praticare sport, l'utilizzo di dispositivi digitali, ovvero quanto tempo e con che tipi di device, ed infine l'illuminazione artificiale cui viene esposto il bambino.

4.2 Il campione statistico

Il campione statistico è composto da 495 soggetti divisi quasi equamente tra maschi e femmine, ovvero 244 (49,29%) e 251 (50,71%) rispettivamente.

L'età è compresa tra i 6 e i 16 anni con un'età media di $10,32 \pm 0,12$ anni, in particolare 51 bambini hanno sei anni (10,30%), 45 hanno sette anni (9,09%), 50 hanno otto anni (10,10%), 51 hanno nove anni (10,30%), 47 hanno dieci anni (9,49%), 65 hanno undici anni (13,13%), 67 hanno dodici anni (13,54%), 69 hanno tredici anni (13,94%), 21 hanno quattordici anni (4,24%), 15 hanno quindici anni (3,07%) e 14 hanno sedici anni (2,83%).

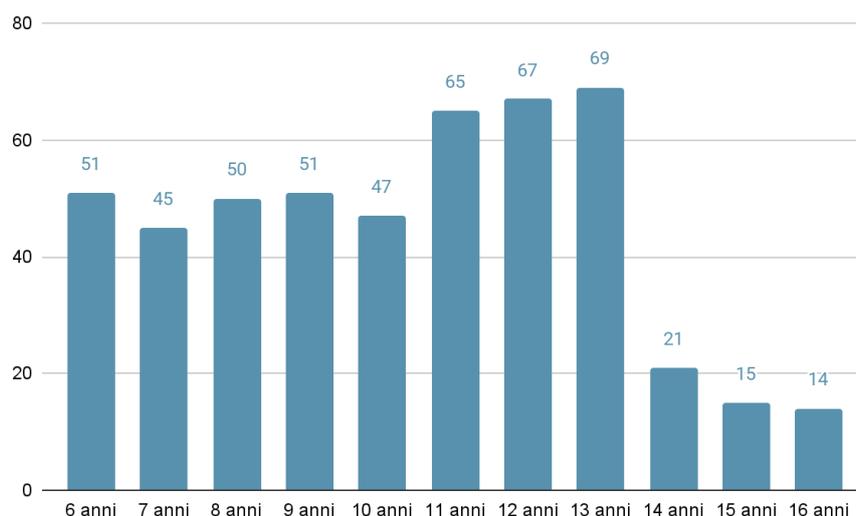


Grafico 1: istogramma della frequenza delle età presenti nel questionario

Il 92,73 % del campione ha effettuato un controllo visivo nel corso della propria vita, tra cui 144 (29,09%) bambini hanno svolto l'ultimo negli scorsi 6 mesi, 116 (23,43%) nell'ultimo anno e 199 (40,20%) più di un anno fa. I restanti 36 non ne hanno mai svolto uno. Questi controlli visivi, nel 45,45% dei casi sono stati svolti da oculisti, nel 27,27% da pediatri, nel 9,90% e nel 10,30% rispettivamente da ottici e optometristi. Il restante 7,07% non ricordava il professionista che lo ha svolto al momento del questionario.

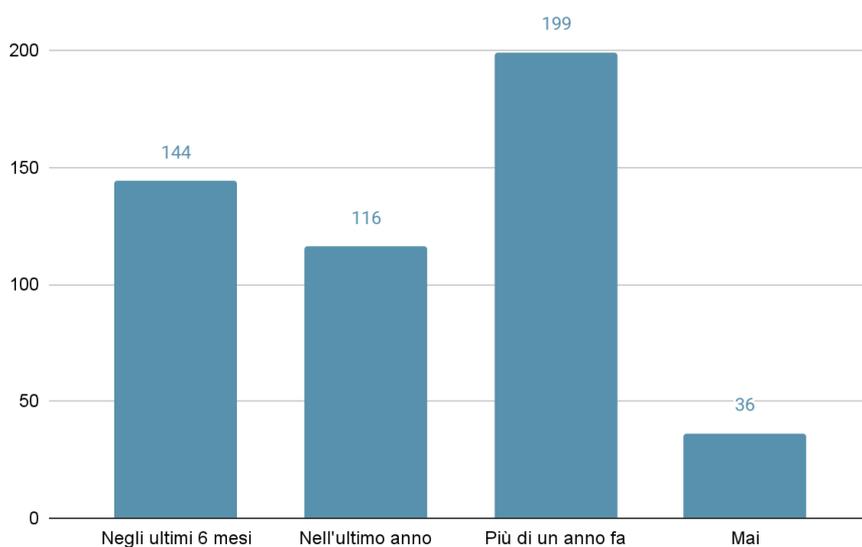


Grafico 2: istogramma che rappresenta la frequenza di quando è stato effettuato l'ultimo controllo visivo

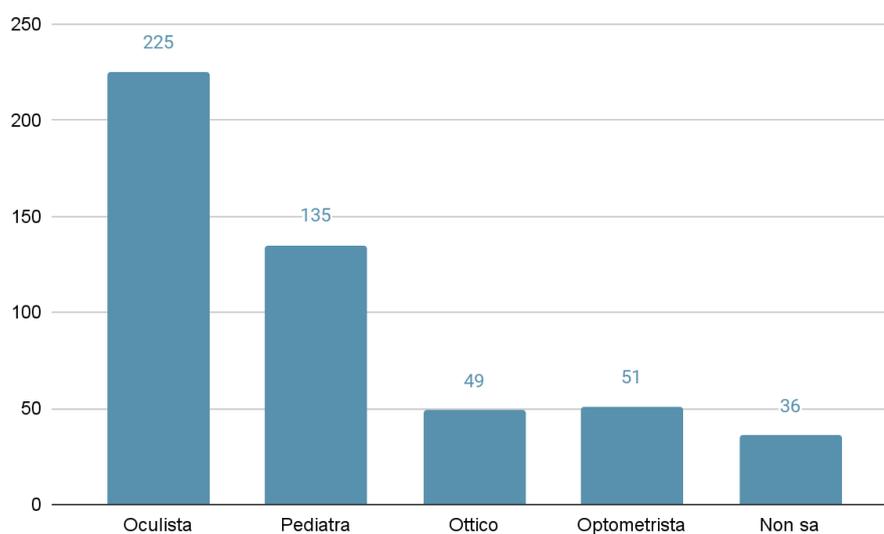


Grafico 3: istogramma che rappresenta la frequenza di da chi è stato svolto l'ultimo controllo visivo

Il 63,43% del campione statistico (314 bambini) non ha mai portato occhiali o lenti a contatto, mentre 8 persone (1,62%) hanno portato uno delle due in passato ma ora non più. Nel restante 36,57%, 139 persone portano occhiali (28,08%), solo 3 (0,61%) portano esclusivamente lenti a contatto mentre 31 (6,26%) portano entrambi. Nel gruppo che porta una correzione visiva, 55 bambini (31,25%) la portano da meno di un anno, 69 (39,20%) da 2-3 anni, 23 (13,07%) da 4-5 anni e 25 (16,48%) da più di 6 anni. 5 persone invece non hanno risposto alla domanda.

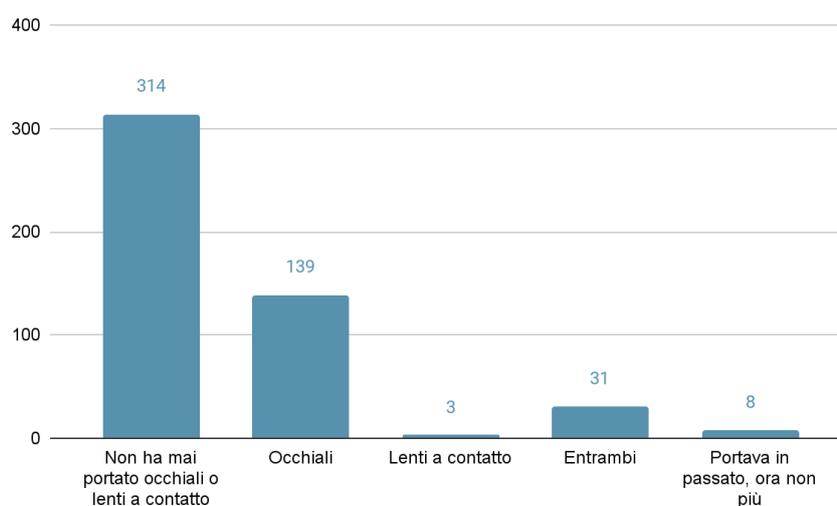


Grafico 4: istogramma che rappresenta la frequenza del tipo di correzione portata

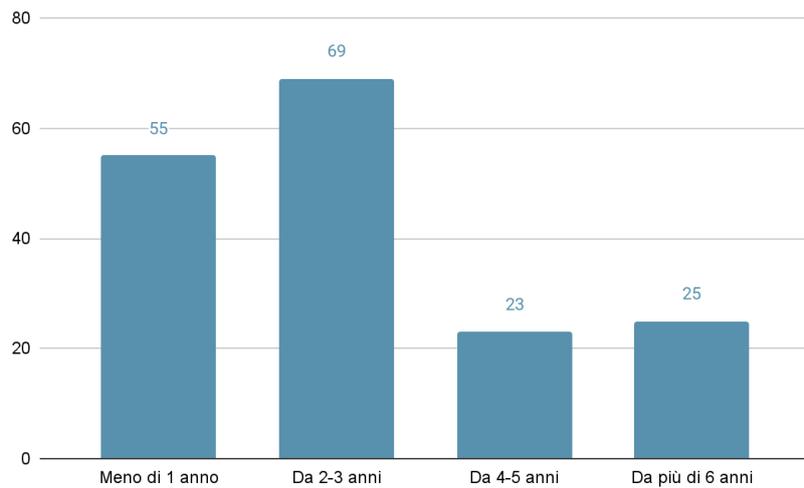


Grafico 5: istogramma che rappresenta la frequenza del tempo di porto della correzione

Tra i portatori di occhiali o lenti a contatto, 75 cambiano la propria correzione meno di una volta all'anno, 81 una volta all'anno e 11 più volte in un anno. In questa domanda del questionario sono state ricevute solo 167 risposte, quindi si stima che 14 persone non abbiano risposto.

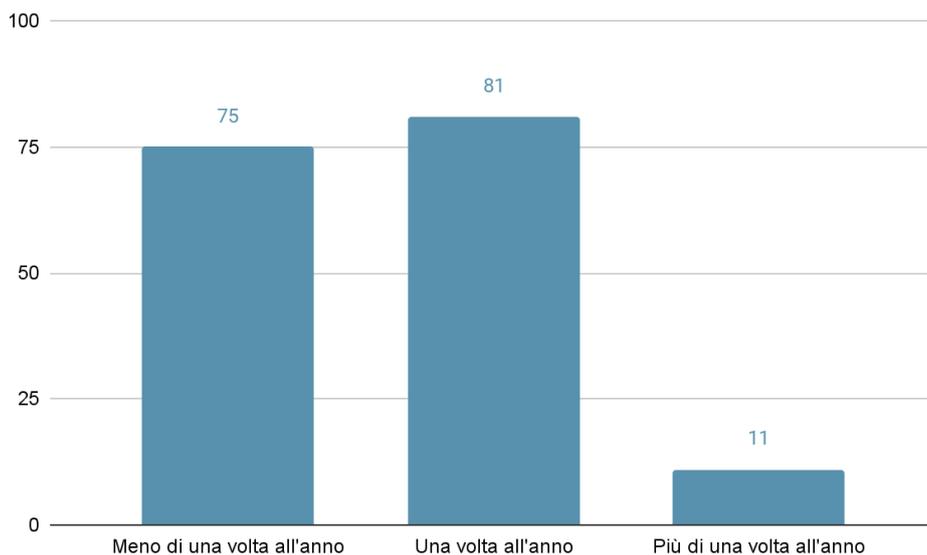


Grafico 6: istogramma che rappresenta la frequenza del cambio di correzione

Nel campione statistico, 294 bambini (59,39%) non hanno nessun difetto visivo diagnosticato, 93 (18,79%) sono miopi, 33 (6,67%) ipermetropi, 44 (8,89%) astigmatici e 31 (6,26%) altro.

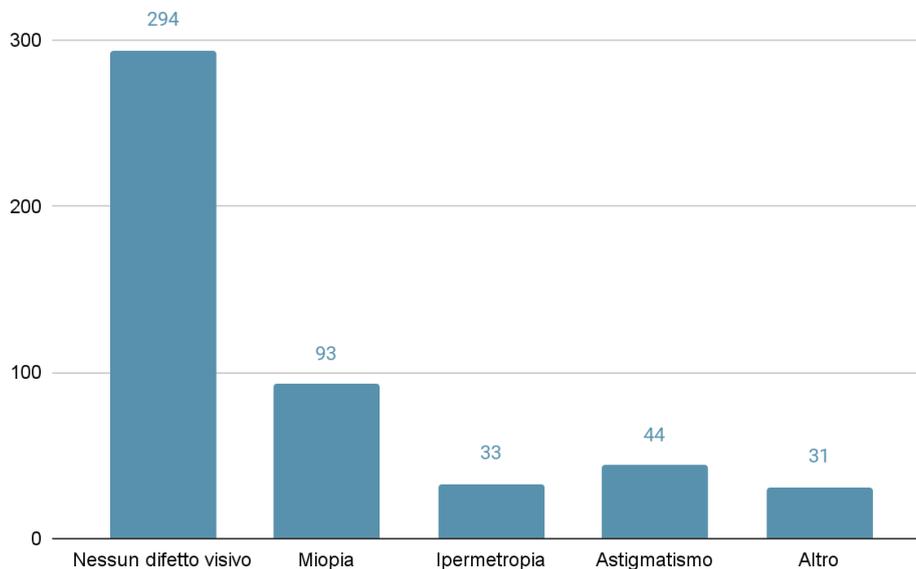


Grafico 7: istogramma che rappresenta la frequenza della condizione visiva dei bambini

4.3 La correlazione tra la miopia, i dispositivi digitali e il lavoro da vicino

Con i dati raccolti è stata creata una tabella di contingenza per poter valutare l'indipendenza tra la miopia e l'utilizzo di dispositivi digitali per più di 1 ora al giorno.

	< 1h digitale	> 1h digitale	TOT
Miopi	20	73	93
Non miopi	191	211	402
TOT	211	284	495

Tabella 3: la tabella di contingenza di presenza di miopia e utilizzo di dispositivi digitali per più di 1 ora al giorno

E' stato effettuato un test del chi-quadro di indipendenza. Sulla base del test è possibile scartare l'indipendenza ($p\text{-value} < 0.05$) e quindi ipotizzare una correlazione tra la miopia

e l' utilizzo di dispositivi digitali per più di un'ora al giorno, confermando questi ultimi come fattore di rischio per la miopia (p value < 0,0001).

Il questionario ha dato la possibilità di investigare se sussista anche una eventuale correlazione tra tempo di studio o lettura e la miopia, considerando come valore di riferimento 2 ore al giorno.

	<2h studio/lettura	>2h studio/lettura	TOT
Miopi	57	36	93
Non miopi	258	144	402
TOT	315	180	495

Tabella 4: la tabella di contingenza di presenza di miopia e attività di studio e lettura per più di 2 ore al giorno.

Dall'analisi statistica non è emersa una correlazione significativa tra lo svolgimento di attività da vicino come studio o lettura per più di 2 ore al giorno e miopia (p-value = 0,6017).

Grazie al questionario, è stato possibile analizzare la correlazione tra il tipo di illuminazione utilizzata dal bambino durante lo studio e l'incidenza della miopia. Le opzioni di risposta si distinguevano in LED, incandescenza, alogena e fluorescente, con un'ulteriore domanda di follow-up che chiedeva il colore della stessa illuminazione, ed è quindi così possibile creare una tabella di contingenza per capire la relazione tra miopia e l'uso di lampade a LED bianche, LED gialle o altro per leggere o studiare.

	LED bianco	LED giallo	Altro	TOT
Miopi	30	11	17	58
Non miopi	116	77	62	255
TOT	146	88	79	313

Tabella 5: la tabella di contingenza di presenza di miopia e tipo di lampada durante lo svolgimento di attività da vicino.

Il p-value ottenuto è pari a 0,2253, valore che comunica l'assenza di una correlazione diretta tra miopia e il tipo di illuminazione usata durante la lettura o lo studio. La domanda sul questionario poteva ricevere più opzioni come risposta, quindi per questa

tabella è stato preso in considerazione l'uso esclusivo di lampade a LED bianche o gialle, quindi le risposte che contenevano sia LED che un'altra opzione sono state scartate.

L'analisi del campione conferma il fattore di rischio genetico, ovvero la correlazione tra la miopia dei genitori e la miopia dei figli (p -value < 0,0001).

	Nessun genitore miope	Almeno 1 genitore miope	TOT
Miopi	13	80	93
Non miopi	169	233	402
TOT	182	313	495

Tabella 6: la tabella di contingenza di presenza di miopia e genitorialità miopica.

5. Discussione e conclusioni

La miopia è una condizione visiva sempre più presente nella popolazione grazie anche al diffondersi di stili di vita miopigenici degli ultimi anni. A causa del ritmo con cui si sta diffondendo questa condizione visiva, si stima che la metà della popolazione mondiale nel 2050 sarà miope, ovvero circa 4,5 miliardi di persone.⁷ Il fattore di rischio genetico è il primo cui si va incontro alla nascita, in quanto c'è una probabilità maggiore di insorgenza miopica quando almeno uno dei due genitori è miope.¹³ Successivamente si va incontro ai fattori di rischio ambientali, il cui effetto si può vedere sulle statistiche della prevalenza mondiale. La miopia è infatti molto più diffusa nelle aree asiatiche, specialmente quelle più urbanizzate come Cina, Giappone e Corea del Sud,^{7,8,9,10} ovvero Paesi in cui l'educazione ha un peso maggiore sulla vita di uno studente rispetto alle altre regioni del mondo e sin da bambini gli studenti passano la maggior parte del loro tempo sui libri. Al contrario, passare del tempo all'ambiente esterno può rallentare la progressione e l'incidenza miopica, grazie all'esposizione alla luce naturale. Questo fattore protettivo però entra in gioco nel caso si venga esposti ad altri fattori di rischio: ad esempio, degli studi sulle popolazioni inuit, che vivono in posti che durante l'inverno possono ricevere anche solo 1-2 ore al giorno di luce solare, hanno provato come fino all'introduzione dell'educazione formale nella loro società la prevalenza della miopia fosse solo del 2%, mentre successivamente fosse intorno al 50%.^{28,29} Similmente, negli ultimi anni, la pandemia da COVID-19 ha sicuramente favorito alcuni fattori di rischio ambientali legati alla progressione miopica media degli ultimi 3 anni, in quanto la diffusione del virus ha visto l'introduzione di quarantena obbligatoria e lockdown, che ha impedito a miliardi di persone di uscire di casa. Servono però più studi e più approfondimenti su questo argomento.

Nelle prime domande in cui si cercava di analizzare il campione statistico, la prevalenza dei miopi è inferiore rispetto al dato dell'Europa Occidentale⁷, questo può essere dato dal fatto che i bambini non abbiano ancora sviluppato la miopia oppure non abbiano

svolto un controllo abbastanza recente da poter essere diagnosticata. È infatti emerso come addirittura 36 bambini non abbiano mai svolto un controllo visivo, mentre 199 non lo svolgono da più di un anno. È importante fare capire ai genitori che la salute visiva del proprio figlio o figlia sia molto importante per il benessere e la performance scolastica, che può essere il primo campanello d'allarme di un bambino miope.

Questo studio aveva principalmente lo scopo di investigare la possibile correlazione tra l'utilizzo di dispositivi digitali e la miopia: negli ultimi anni sempre più persone sono in possesso di un cellulare, e l'età del primo utilizzo si abbassa sempre di più. Molto spesso, i genitori di un bambino utilizzano un tablet oppure uno smartphone come metodo di distrazione per esso ed è importante capire se un'esposizione continua, anche in età già avanzata, può avere ripercussioni sullo stato refrattivo di un soggetto giovane. Secondo Yang et al. un'esposizione ai dispositivi digitali a bambini sotto i due anni di età può essere correlata ad un rischio miopico molto alto, mentre lo studio di Singh et al. ha determinato un rapporto di probabilità di incidenza miopica 8,33 volte più alto in chi ha un tempo di screentime giornaliero superiore alle 2 ore. Secondo i dati raccolti in questo studio, l'utilizzo di dispositivi digitali è un fattore di rischio anche solo con un'ora al giorno, che è un tempo di utilizzo non eccessivo. Con la presenza sempre più frequente di cellulari, tablet e PC nella vita di tutti i giorni, è probabile come negli anni a venire la presenza e l'entità media della miopia saranno sempre più alte, per questo è importante dosare il tempo di utilizzo giornaliero ed esporsi ai fattori protettivi contro la miopia come passare più tempo all'ambiente esterno.

Secondo gli studi esposti nei capitoli precedenti, anche lo svolgimento prolungato di attività al chiuso da vicino è un fattore di rischio per la miopia e la progressione di essa. Il Sydney Myopia Study aveva rilevato come un tempo di lettura continuo superiore ai 30 minuti aumentava la probabilità di miopia di 1,5 volte,³⁶ mentre il Singapore Cohort study Of the Risk factors of Myopia aveva determinato un rischio miopico maggiore nei bambini che leggono più di due libri a settimana.³⁷ I dati raccolti in questo studio non

hanno però rilevato una correlazione tra l'attività prolungata da vicino e la miopia, in quanto c'erano addirittura più miopi che passavano meno di due ore al giorno a leggere o studiare (57) rispetto a chi ne passava di più (36). È però importante notare come questo sia un questionario volontario e non ci sia nessuna misura oggettiva dell'effettivo tempo passato a leggere o studiare, fattore che può alterare i risultati effettivi dello studio. Il tempo non è però l'unico fattore che rende il lavoro da vicino un fattore di rischio, ma anche l'effettiva distanza di lettura e l'illuminazione. La prima si tratta di un fattore attendibile solo se misurato oggettivamente, oppure se la persona che compila il questionario è la stessa cui è rivolto, il quale non è il caso di questo studio. Diversi studi sono riusciti a provare il fatto che la distanza di lettura sia legata al rischio miopico tramite dei questionari, in particolare Quek et al. che ha evidenziato un incremento dell'incidenza miopica dell'80% in chi ha una distanza di lavoro inferiore ai 30 cm,⁴⁰ valore utilizzato anche dal Sydney Myopia Study che però ha rilevato un aumento della probabilità di incidenza miopica di 2,5 volte.³⁶ Per quanto riguarda il tipo di illuminazione durante lo svolgimento dell'attività da vicino, i risultati ottenuti in questo studio non hanno trovato alcuna correlazione tra esso e l'incidenza della miopia. Lo studio di Wen et al.⁴² è riuscito a rilevare un collegamento tra la luminosità della luce a cui è esposto il bambino durante la giornata e l'incidenza di miopia tramite una misura oggettiva di essa, quindi può essere il caso che non sia il tipo di illuminazione ma la luminanza di essa ad essere ciò che la rende un fattore di rischio.

Lo studio è inoltre riuscito a confermare la presenza della miopia ereditaria, in quanto circa 8 miopi su 9 avevano almeno un genitore miope.

In conclusione, nonostante sia certo che un utilizzo prolungato dei dispositivi digitali sia un fattore di rischio della miopia, è ancora difficile poter dare un valore esatto al peso che esso ha sull'insorgenza e sulla progressione del difetto visivo. La letteratura non riesce a dare delle risposte certe su questo soprattutto a causa della difficoltà a implementare dei metodi di rilevazione dello screentime oggettivi, dovendo quindi

ripiegare su questionari le cui risposte non possono essere affidabili tanto quanto delle misurazioni del tempo di utilizzo di dispositivi digitali imparziali. Questo vale anche per gli studi che si occupano dell'analisi della correlazione tra attività a distanza di lavoro ravvicinata e miopia.

È importante far conoscere ai genitori tutti i fattori di rischio, cosicché loro possano proteggere la vista del proprio bambino. Ce ne sono alcuni che non si possono eliminare dalla vita quotidiana di un bambino come le attività con distanza di lavoro ravvicinata prolungate in quanto lo studio è una componente essenziale della loro vita durante la gioventù, ma si può gestire il loro tempo passato davanti agli schermi grazie anche ad i controlli parentali che i dispositivi digitali permettono di inserire, come i limiti di tempo.

Infine, è necessario svolgere ulteriori studi su questo argomento, possibilmente utilizzando software o dispositivi in grado di misurare i tempi di utilizzo effettivi e ricavando dati oggettivi come la lunghezza assiale o la refrazione dei soggetti, analizzando la loro variazione nel tempo in correlazione al tempo di screentime.

6. BIBLIOGRAFIA

1. American Optometric Association Goss D. A. et al. Optometric Clinical Practice Guideline: Care of the Patient with Myopia. August 9, 1997 Reviewed 2001, Reviewed 2006.
2. Baird PN, Saw SM, Lanca C, Guggenheim JA, Smith Iii EL, Zhou X, Matsui KO, Wu PC, Sankaridurg P, Chia A, Rosman M, Lamoureux EL, Man R, He M. Myopia. *Nat Rev Dis Primers*. 2020 Dec 17;6(1):99.
3. Flitcroft DI, He M, Jonas JB, Jong M, Naidoo K, Ohno-Matsui K, Rahi J, Resnikoff S, Vitale S, Yannuzzi L. IMI - Defining and Classifying Myopia: A Proposed Set of Standards for Clinical and Epidemiologic Studies. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2019 Feb 28;60(3):M20-M30.
4. Verhoeven VJM, Wong KT, Buitendijk GH, Hofman A, Vingerling JR, Klaver CC. Visual consequences of refractive errors in the general population. *Ophthalmology*. 2015;122:101–109.
5. World Health Organization - Brien Holden Vision Institute. The impact of myopia. The Impact of Myopia and High Myopia. Report of the Joint World Health Organization–Brien Holden Vision Institute Global Scientific Meeting on Myopia.
6. A. Rossetti, P. Gheller, "Manuale di optometria e contattologia", Zanichelli, 2012
7. Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, Jong M, Naidoo KS, Sankaridurg P, Wong TY, Naduvilath TJ, Resnikoff S. Global Prevalence of Myopia and High Myopia and Temporal Trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology*. 2016 May;123(5):1036-42.
8. Xiang F, He M, Zeng Y, Mai J, Rose KA, Morgan IG. Increases in the prevalence of reduced visual acuity and myopia in Chinese children in Guangzhou over the past 20 years. *Eye (Lond)*. 2013 Dec;27(12):1353-8.
9. Ding BY, Shih YF, Lin LL, Hsiao CK, Wang IJ. Myopia among schoolchildren in East Asia and Singapore. *Surv Ophthalmol*. 2017 Sep-Oct;62(5):677-697.
10. Yotsukura E, Torii H, Inokuchi M, Tokumura M, Uchino M, Nakamura K, Hyodo M, Mori K, Jiang X, Ikeda SI, Kondo S, Negishi K, Kurihara T, Tsubota K. Current Prevalence of Myopia and Association of Myopia With Environmental Factors Among Schoolchildren in Japan. *JAMA Ophthalmol*. 2019 Nov 1;137(11):1233-1239.
11. Lee YY, Lo CT, Sheu SJ, Lin JL. What factors are associated with myopia in young adults? A survey study in Taiwan Military Conscripts. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2013 Feb 5;54(2):1026-33.
12. Cheng CY, Hsu WM, Liu JH, Tsai SY, Chou P. Refractive errors in an elderly Chinese population in Taiwan: the Shihpai Eye Study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2003 Nov;44(11):4630-8.

13. Kai C, Yue W, Mayinuer Y, Ningli W. Significance of Outdoor Time for Myopia Prevention: A Systematic Review and Meta-Analysis Based on Randomized Controlled Trials. *Ophthalmic Res.* 2019/08.
14. W. Gilmartin, "Paediatric Optometry", BH-optician, Foreword by David Taylor, 200.
15. Cooper J, Tkatchenko AV. A Review of Current Concepts of the Etiology and Treatment of Myopia. *Eye Contact Lens.* 2018 Jul;44(4):231-247.
16. Goldschmidt E. The mystery of myopia. *Acta Ophthalmol Scand.* 2003; 81: 431–436.
17. Parssinen TO. Relation between refraction, education, occupation, and age among 26- and 46-year-old Finns. *Am J Optom Physiol Opt.* 1987; 64: 136–143.
18. He M, Xiang F, Zeng Y, et al... Effect of time spent outdoors at school on the development of myopia among children in China: a randomized clinical trial. *JAMA.* 2015; 314: 1142–1148.
19. Wu PC, Tsai CL, Wu HL, Yang YH, Kuo HK. Outdoor activity during class recess reduces myopia onset and progression in school children. *Ophthalmology.* 2013; 120: 1080–1085.
20. Rose KA, Morgan IG, Ip J, et al... Outdoor activity reduces the prevalence of myopia in children. *Ophthalmology.* 2008; 115: 1279–1285.
21. Choi JA, Han K, Park YM, La TY. Low serum 25-hydroxyvitamin D is associated with myopia in Korean adolescents. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2014; 55: 2041–2047.
22. Cui D, Trier K, Munk Ribel-Madsen S. Effect of day length on eye growth, myopia progression, and change of corneal power in myopic children. *Ophthalmology.* 2013; 120: 1074–1079.
23. Wu PC, Chen CT, Lin KK, et al... Myopia prevention and outdoor light intensity in a school-based cluster randomized trial. *Ophthalmology.* 2018; 125: 1239–1250.
24. Hagen LA, Gjelle JVB, Arnegard S, Pedersen HR, Gilson SJ, Baraas RC. Prevalence and possible factors of myopia in Norwegian adolescents. *Sci Rep.* 2018; 8: 13479.
25. McCullough SJ, O'Donoghue L, Saunders KJ. Six year refractive change among white children and young adults: evidence for significant increase in myopia among white UK children. *PLoS One.* 2016; 11: e0146332.
26. French AN, Morgan IG, Burlutsky G, Mitchell P, Rose KA. Prevalence and 5- to 6-year incidence and progression of myopia and hyperopia in Australian school children. *Ophthalmology.* 2013; 120: 1482–1491.
27. Czepita D, Mojsa A, Ustianowska M, Czepita M, Lachowicz E. Prevalence of refractive errors in schoolchildren ranging from 6 to 18 years of age. *Ann Acad Med Stetin.* 2007; 53: 53–56.

28. Morgan RW, Munro M. Refractive problems in Northern natives. *Can J Ophthalmol*. 1973; 8: 226–228.
29. Morgan RW, Speakman JS, Grimshaw SE. Inuit myopia: an environmentally induced “epidemic”? *Can Med Assoc J*. 1975; 112: 575–577.
30. Skeller E. Anthropological and ophthalmological studies on the Angmagssalik Eskimos. *Meddr Gron*. 1954; 107: 187–211.
31. Holm E. The ocular refractive state of the Palae-Negroids in French Equatorial Africa. *Acta Ophthalmol Suppl*. 1937; 13: 1–299.
32. Morgan IG, Rose KA. Myopia and international educational performance. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2013; 33: 329–338.
33. Mirshahi A, Ponto KA, Hoehn R, et al... Myopia and level of education: results from the Gutenberg Health Study. *Ophthalmology*. 2014; 121: 2047–2052.
34. Saw SM, Cheng A, Fong A, Gazzard G, Tan DT, Morgan I. School grades and myopia. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2007; 27: 126–129.
35. Huang HM, Chang DS, Wu PC. The association between near work activities and myopia in children - a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2015; 10: e0140419.
36. Ip JM, Saw S-M, Rose KA, Morgan IG, Kifley A, Wang JJ, et al. Role of Near Work in Myopia: Findings in a Sample of Australian School Children. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2008 July 1, 2008;49(7):2903–10.
37. Saw S-M, Chua W-H, Hong C-Y, Wu H-M, Chan W-Y, Chia K-S, et al. Nearwork in Early-Onset Myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2002 February 1, 2002;43(2):332–9.
38. Lu B, Congdon N, Liu X, Choi K, Lam DSC, Zhang M, et al. Associations Between Near Work, Outdoor Activity, and Myopia Among Adolescent Students in Rural China: The Xichang Pediatric Refractive Error Study Report No. 2. *Arch Ophthalmol*. 2009 June 1, 2009;127(6):769–75.
39. Rose KA, Morgan IG, Smith W, Burlutsky G, Mitchell P, Saw S-M. Myopia, Lifestyle, and Schooling in Students of Chinese Ethnicity in Singapore and Sydney. *Arch Ophthalmol*. 2008 April 1, 2008;126(4):527–30.
40. Quek TPL, Chua CG, Chong CS, et al.. Prevalence of refractive errors in teenage high school students in Singapore. *Oph Phys Optics* 2004;24:47–55.
41. Ip JM, Saw S-M, Rose KA, et al.. Role of near work in myopia: findings in a sample of Australian school children. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2008;49:2903–10.

42. Wen L, Cao Y, Cheng Q, Li X, Pan L, Li L, Zhu H, Lan W, Yang Z. Objectively measured near work, outdoor exposure and myopia in children. *Br J Ophthalmol*. 2020 Nov;104(11):1542-1547.
43. Bedrossian RH. The effect of atropine on myopia. *Ann Ophthalmol*. 1971; 3: 891–897.
44. Carr BJ, Mihara K, Ramachandran R, et al... Myopia-inhibiting concentrations of muscarinic receptor antagonists block activation of alpha2A-adrenoceptors in vitro. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2018; 59: 2778–2791.
45. Carr BJ, Nguyen CT, Stell WK. Alpha2 -adrenoceptor agonists inhibit form-deprivation myopia in the chick. *Clin Exp Optom*. 2019; 102: 418–425.
46. Schaeffel F, Troilo D, Wallman J, Howland HC. Developing eyes that lack accommodation grow to compensate for imposed defocus. *Vis Neurosci*. 1990; 4: 177–183.
47. Mutti DO, Mitchell GL, Jones LA, et al... Accommodation, acuity, and their relationship to emmetropization in infants. *Optom Vis Sci*. 2009; 86: 666–676.
48. Lanca C, Saw SM. The association between digital screen time and myopia: A systematic review. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2020 Mar;40(2):216-229.
49. Wong CW, Tsai A, Jonas JB, Ohno-Matsui K, Chen J, Ang M, Ting DSW. Digital Screen Time During the COVID-19 Pandemic: Risk for a Further Myopia Boom? *Am J Ophthalmol*. 2021 Mar;223:333-337.
50. Foreman J, Salim AT, Praveen A, Fonseka D, Ting DSW, Guang He M, Bourne RRA, Crowston J, Wong TY, Dirani M. Association between digital smart device use and myopia: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Digit Health*. 2021 Dec;3(12):e806-e818.
51. Yang G-Y, Huang L-H, Schmid KL, Li C-G, Chen J-Y, He G-H, Liu L, Ruan Z-L, Chen W-Q. Associations Between Screen Exposure in Early Life and Myopia amongst Chinese Preschoolers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020; 17(3):1056.
52. Chua SY, Ikram MK, Tan CS, Lee YS, Ni Y, Shirong C, Gluckman PD, Chong YS, Yap F, Wong TY, Ngo CS, Saw SM; Growing Up in Singapore Towards Healthy Outcomes Study Group. Relative Contribution of Risk Factors for Early-Onset Myopia in Young Asian Children. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2015 Dec;56(13):8101-7.
53. Alvarez-Peregrina C, Sánchez-Tena MÁ, Martínez-Perez C, Villa-Collar C. The Relationship Between Screen and Outdoor Time With Rates of Myopia in Spanish Children. *Front Public Health*. 2020 Oct 14;8:560378.

54. Singh NK, James RM, Yadav A, Kumar R, Asthana S, Labani S. Prevalence of Myopia and Associated Risk Factors in Schoolchildren in North India. *Optom Vis Sci*. 2019 Mar;96(3):200-205.
55. Saxena R, Vashist P, Tandon R, Pandey RM, Bhardawaj A, Menon V, Mani K. Prevalence of myopia and its risk factors in urban school children in Delhi: the North India Myopia Study (NIM Study). *PLoS One*. 2015 Feb 26;10(2):e0117349.
56. Examining risk factors related to digital learning and social isolation: youth visual acuity in COVID-19 pandemic. Liu J, Chen Q, Dang J. *J Glob Health*. 2021;11:5020.
57. Progression of myopia in a natural cohort of Chinese children during COVID-19 pandemic. Ma D, Wei S, Li SM, et al. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2021;259:2813–2820.
58. Survey on the progression of myopia in children and adolescents in Chongqing during COVID-19 pandemic. Wang W, Zhu L, Zheng S, et al. *Front Public Health*. 2021;9:646770.
59. Impact of online classes and home confinement on myopia progression in children during COVID-19 pandemic: digital eye strain among kids (DESK) study 4. Mohan A, Sen P, Peeush P, Shah C, Jain E. *Indian J Ophthalmol*. 2022;70:241–245.
60. Complex interplay between COVID-19 lockdown and myopic progression. Cai T, Zhao L, Kong L, Du X. *Front Med (Lausanne)* 2022;9:853293.
61. COVID-19 home quarantine accelerated the progression of myopia in children aged 7 to 12 years in China. Ma M, Xiong S, Zhao S, Zheng Z, Sun T, Li C. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2021;62:37.
62. Sorsby, A., Leary, G.A., 1970. A longitudinal study of refraction and its components during growth. Medical Research Council Special Report Series 309. London: HMSO.
63. Saiko M, Kuo AN, Saw S. An Update of Eye Shape and Myopia. *Eye & Contact Lens* 2019;45: 279–285.
64. Zadnik K, Sinnott LT, Cotter SA, et al. Prediction of juvenile-onset myopia. *JAMA Ophthalmol*. 2015;133:683–689.
65. Tideman JW, Polling JR, Vingerling JR, Jaddoe VWV, Williams C, Guggenheim JA, Klaver CWC. Axial length growth and the risk of developing myopia in European children. *Acta Ophthalmol*. 2018; 96: 301–309.
66. Sankaridurg P, Tahhan N, Kandel H, Naduvilath T, Zou H, Frick KD, Marmamula S, Friedman DS, Lamoureux E, Keeffe J, Walline JJ, Fricke TR, Kovai V, Resnikoff S. IMI Impact of Myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2021 Apr 28;62(5):2

67. Kandel H, Khadka J, Goggin M, Pesudovs K.. Impact of refractive error on quality of life: a qualitative study. *Clin Exp Ophthalmol*. 2017; 45(7): 677–688.
68. Kandel H, Khadka J, Lundström M, Goggin M, Pesudovs K.. Questionnaires for measuring refractive surgery outcomes. *J Refract Surg*. 2017; 33(6): 416–424.
69. Zheng YF, Pan CW, Chay J, Wong TY, Finkelstein E, Saw SM.. The economic cost of myopia in adults aged over 40 years in Singapore. *Investig Ophthalmol Vis Sci*. 2013; 54(12): 7532–7537.
70. Lim MCC, Gazzard G, Sim EL, Tong L, Saw SM.. Direct costs of myopia in Singapore. *Eye*. 2009; 23(5): 1086–1089.
71. Erdinest N, London N, Lavy I, Berkow D, Landau D, Morad Y, Levinger N. Peripheral Defocus and Myopia Management: A Mini-Review. *Korean J Ophthalmol*. 2023 Feb;37(1):70-81.
72. Liu Y, Wildsoet C. The effect of two-zone concentric bifocal spectacle lenses on refractive error development and eye growth in young chicks. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2011; 52: 1078–1086.
73. Arumugam B, Hung L-F, To C-H, et al... The effects of simultaneous dual focus lenses on refractive development in infant monkeys. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2014; 55: 7423–7432.
74. Erdinest N, London N, Lavy I, Berkow D, Landau D, Morad Y, Levinger N. Peripheral Defocus and Myopia Management: A Mini-Review. *Korean J Ophthalmol*. 2023 Feb;37(1):70-81.
75. Sankaridurg P, Donovan L, Varnas S, et al... Spectacle lenses designed to reduce progression of myopia: 12-month results. *Optom Vis Sci*. 2010; 87: 631–641.
76. Hasebe S, Jun J, Varnas SR. Myopia control with positively aspherized progressive addition lenses: a 2-year, multicenter, randomized, controlled trial. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2014; 55: 7177–7188.
77. Lam CSY, Tang WC, Tse DY, Lee RPK, Chun RKM, Hasegawa K, Qi H, Hatanaka T, To CH. Defocus Incorporated Multiple Segments (DIMS) spectacle lenses slow myopia progression: a 2-year randomised clinical trial. *Br J Ophthalmol*. 2020 Mar;104(3):363-368.
78. Lam CS, Tang WC, Tse DY, Tang YY, To CH. Defocus Incorporated Soft Contact (DISC) lens slows myopia progression in Hong Kong Chinese schoolchildren: a 2-year randomised clinical trial. *Br J Ophthalmol*. 2014 Jan;98(1):40-5.
79. Choo J, Caroline P, Harlin P. “How does the cornea change under corneal reshaping contact lenses?” *Eye Contact Lens* 2004;30:211–213.

80. Choo JD, Caroline PJ, Harline DD, et al. Morphologic changes in cat epithelium following overnight lens wear with the paragon CRT lens for corneal reshaping. *Invest Ophthal Vis Sci* 2004;45.
81. Haque S, Fonn D, Simpson T, et al. Corneal and epithelial thickness changes after 4 Weeks of overnight corneal refractive Therapy lens wear, measured with optical coherence Tomography. *Eye Contact Lens* 2004;30: 189–193.
82. Cho P, Cheung SW, Edwards M. The longitudinal orthokeratology research in children (LORIC) in Hong Kong: a pilot study on refractive changes and myopic control. *Curr Eye Res* 2005; 30: 71–80.
83. Zhu MJ, Feng HY, He XG et al. The control effect of orthokeratology on axial length elongation in Chinese children with myopia. *BMC Ophthalmol* 2014; 14: 141.
84. Cohen Y, Belkin M, Yehezkel O, et al. Dependency between light intensity and refractive development under light-dark cycles. *Exp Eye Res* 2011; 92: 40–46.
85. Ashby R, Ohlendorf A, Schaeffel F. The effect of ambient illuminance on the development of deprivation myopia in chicks. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2009; 50: 5348–5354.
86. Backhouse S, Collins AV, Phillips JR. Influence of periodic vs continuous daily bright light exposure on development of experimental myopia in the chick. *Ophthalmic Physiol Opt* 2013; 33: 563–572.
87. Wang M, Schaeffel F, Jiang B, et al. Effects of light of different spectral composition on refractive development and retinal dopamine in chicks. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2018; 33: 205–215.
88. Kröger RH, Wagner HJ. The eye of the blue acara (*Aequidens pulcher*, Cichlidae) grows to compensate for defocus due to chromatic aberration. *J Comp Physiol A* 1996; 179: 837–842.
89. Liu R, Qian YF, He JC, et al. Effects of different monochromatic lights on refractive development and eye growth in guinea pigs. *Exp Eye Res* 2011; 92: 447–453.
90. Liu R, Hu M, He JC, et al. The effects of monochromatic illumination on early eye development in rhesus monkeys. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2014; 55: 1901–1909.
91. Ward AH, Norton TT, Huisingh CE, et al. The hyperopic effect of narrow-band long-wavelength light in tree shrews increases non-linearly with duration. *Vision Res* 2018; 146–147: 9–17.
92. Rucker F. Monochromatic and white light and the regulation of eye growth. *Exp Eye Res* 2019; 184: 172–182.

93. Weng R, Lan W, Bakaraju R, Conrad F, Naduvilath T, Yang ZK, Sankaridurg P. Efficacy of contact lenses for myopia control: Insights from a randomised, contralateral study design. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2022 Nov;42(6):1253-1263.