



SPECIAL ABSTRACT:

*Il ruolo della curva di defocus nella compensazione della
presbiopia con lenti a contatto*

Anno Accademico: 2024-2025

INTRODUZIONE

La presbiopia, in quanto processo fisiologico che prevede una progressiva riduzione dell'ampiezza accomodativa a partire dai 40 anni fino ad arrivare a un plateau intorno ai 60 anni, rappresenta una delle condizioni visive più diffuse e clinicamente rilevanti nella popolazione adulta, configurandosi come una delle principali sfide della pratica optometrica contemporanea, anche in relazione al progressivo invecchiamento della popolazione e all'aumento delle richieste visive prossimali, quotidiane e professionali, sempre più diffuso (come l'utilizzo di dispositivi digitali). A livello globale, i soggetti affetti sono passati da circa 1,4 miliardi nel 2000 (23%) a 1,8 miliardi nel 2015 (25%), con una previsione di circa 2,1 miliardi nel 2030 e 1,9 miliardi nel 2050. Questa apparente riduzione percentuale della prevalenza è causa dell'aumento della diffusione della miopia, che può attenuarne i sintomi senza modificarne la fisiologia (Fricke et al., 2018).

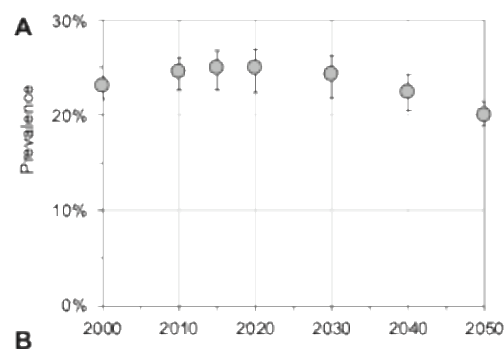


Figura 1: Stima della prevalenza globale della presbiopia nel corso degli anni (Fricke et al., 2018)

Tale fenomeno sottolinea la necessità di sviluppare strategie correttive sempre più efficaci e personalizzate, in cui la sola correzione del vicino non è più sufficiente: diventa necessario garantire al soggetto una visione funzionale continua alle diverse distanze. Nel corso degli anni sono state proposte diverse soluzioni per la compensazione della presbiopia, che includono occhiali monofocali per vicino, lenti bifocali, lenti progressive, soluzioni chirurgiche o intraoculari, per poi arrivare all'utilizzo delle lenti a contatto. La correzione della presbiopia mediante lenti a contatto si articola principalmente in tre strategie: monovisione (e mini-monovisione), bifocalità e multifocalità. Le lenti multifocali a visione simultanea (con profili asferici o multizonali concentrici, come osservabile in figura 2) rappresentano attualmente lo standard clinico. In questo contesto si inseriscono anche i più recenti design a profondità di fuoco estesa (EDOF), sviluppati per ottimizzare la continuità visiva tra le diverse distanze e migliorare la tolleranza soggettiva attraverso un controllo più sofisticato delle aberrazioni ottiche (Kohnen et al., 2022).

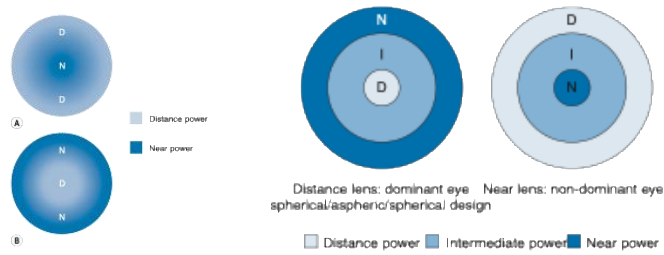


Figura 2: Design di LaC multifocali asferiche e multifocali concentriche (Meyler & Ruston, 2024)

La risposta visiva a tali sistemi è però influenzata da fattori individuali, tra cui il grado di presbiopia, le esigenze visive, il diametro pupillare, le aberrazioni ottiche, le condizioni di illuminazione, la dominanza oculare e i meccanismi di adattamento neuro-percettivo (Bakaraju et al., 2018). Di conseguenza, la semplice valutazione dell'acuità visiva a distanza e da vicino non è sufficiente per descrivere in modo completo la performance visiva del paziente presbite. Alla luce di ciò, la *curva di defocus*, nata originariamente per la valutazione delle lenti intraoculari multifocali (IOL), mappa l'acuità visiva in funzione delle vergenze e si configura come uno strumento di valutazione utile anche nello studio della performance di lenti a contatto multifocali, in quanto descrive la profondità di fuoco funzionale di un determinato design di lente. Nonostante il suo crescente utilizzo in ambito di ricerca e l'elevata ripetibilità, l'applicazione clinica presenta ancora delle criticità, legate principalmente alla mancanza di standardizzazione dei protocolli di misurazione. Differenze nella distanza del test, negli step di defocus, nelle condizioni di illuminazione e nelle scale di valutazione (logMAR vs Snellen) possono influenzare i risultati, rendendo talvolta complesso il confronto tra studi (Clavé et al., 2022). Per questo motivo, l'analisi di parametri quantitativi più recenti, quali la profondità di fuoco (*depth-of-focus, Dof*), l'area sotto la curva (*area-under-the-curve, AUC*) e la riserva di acuità (*acuity reserve*), permettono di confrontare in modo oggettivo le prestazioni di differenti design ottici (Alió et al., 2020). La parte sperimentale dell'elaborato ha previsto lo studio di un singolo caso clinico, col fine di dimostrare l'utilità della curva di defocus, sia nella scelta della lente a contatto ideale sia per la correzione del fitting post applicativo. Questo elaborato non ha la pretesa di fornire una trattazione esaustiva o definitiva del tema, ma mira a promuovere una maggiore consapevolezza scientifica su uno strumento innovativo in ambito optometrico, fornendosi come una guida interpretativa e applicativa, per comprendere e utilizzare in modo consapevole e pratico le curve di defocus, integrando aspetti teorici e metodologici. Nell'attuale contesto demografico, caratterizzato da un aumento dell'età media e da una domanda visiva sempre più specifica e tecnologicamente orientata, l'obiettivo di questa tesi è quello di fornire una sintesi critica, utile per supportare il professionista nella scelta del design ottico più adeguato e nell'ottimizzazione del fitting, in una prospettiva sempre più personalizzata del paziente presbite moderno.

MATERIALI E METODI

La parte sperimentale dell'elaborato, col fine di dimostrare l'importanza della curva di defocus nella scelta della lente a contatto multifocale più idonea, ha previsto lo studio di un singolo caso clinico, il quale è stato condotto su una paziente di sesso femminile di 51 anni, emmetrope per lontano in entrambi gli occhi (0,00 D OU), con occhio destro dominante e necessità di un'addizione di +1,00 D, quadro compatibile con una presbiopia incipiente. Nel profilo clinico era inoltre presente una lieve distrofia endoteliale di Fuchs, elemento tenuto in considerazione per la scelta del materiale e della modalità d'uso della lente, pur senza un'influenza sostanziale sull'andamento della curva di defocus, che nel caso in esame riflette prevalentemente il design multifocale e la sua interazione con il diametro pupillare naturale.

La costruzione della curva di defocus si basa sulla relazione tra distanza dell'oggetto e vergenza ottica ($L = 1/d$), che consente di simulare, in modo controllato, il comportamento del sistema visivo lungo il continuum di distanze (Galvis et al., 2020). In ambito clinico, tale valutazione può essere eseguita attraverso due approcci: il metodo VD (Varying Distance), che prevede la variazione reale della distanza dell'ottotipo, e il metodo DC (Defocus Curve), adottato nel presente studio, il quale è il più diffuso per la sua maggiore praticità e riproducibilità (Clavé et al., 2022). Nel metodo DC, ogni valore di defocus corrisponde a una distanza virtuale equivalente ($-1,00 \text{ D} \approx 1 \text{ m}$; $-2,50 \text{ D} \approx 40 \text{ cm}$), permettendo di analizzare la capacità del sistema visivo di mantenere una visione utile in condizioni di sfocatura controllata (Kohnen et al., 2022). I valori negativi simulano oggetti reali a distanze prossimali (defocus miopico), mentre i valori positivi rappresentano condizioni di defocus ipermetropico, utili per valutare il comportamento oltre il piano retinico (Clavé et al., 2022). Le misurazioni sono state eseguite mediante forottero, in condizioni fotopiche controllate (280 lux) e con pupilla naturale. La procedura (riassunta in tabella 1) ha avuto inizio con la determinazione della miglior correzione soggettiva per lontano (0.00 D), seguita dal protocollo di misura condotto in doppia sequenza, ovvero applicando prima lenti negative da -5.00 D fino ad arrivare al neutro e successivamente lenti positive da $+3.00 \text{ D}$ fino ad arrivare di nuovo al neutro, con incrementi di 0.50 D , registrando l'acuità visiva (in LogMAR e in decimi) per ciascun livello di defocus. Tale metodologia in doppia sequenza (una che stimola l'accomodazione e una che la rilassa) migliora la ripetibilità e la rappresentatività della curva, così da stimare la reale profondità di fuoco funzionale, in quanto isola il contributo della lente multifocale dal contributo accomodativo, dato che nei soggetti presbiteri emergenti (come in questo caso), può esserci ancora una piccola accomodazione residua. I dati ottenuti sono stati riportati in una tabella Excel e poi sono stati rappresentati graficamente, con il defocus sull'asse delle ascisse e l'acuità visiva (in LogMAR) sull'asse delle ordinate.

Le misurazioni di AV monoculare (OD e OS) e binoculare sono state raccolte e rappresentate graficamente in unità logMAR, poiché questa scala consente una rappresentazione più lineare e comparabile delle variazioni di AV lungo il piano di defocus, rispetto l'utilizzo dei decimi (Kohnen et al., 2022).

Step	Procedura	Strumenti utilizzati	Dettagli operativi	Obiettivo della fase
1	<i>Determinazione della correzione soggettiva per lontano</i>	Forottero e ottotipo Snellen a 6 m	Si registra la MAV a 0.00 D	Stabilire il punto di riferimento (zero diottrico)
2	<i>Ciclo negativo (defocus miopico)</i>	Lenti negative	Da -5.00 D fino a 0.00 D (step di 0.50 D)	Simulare la visione a distanze ravvicinate
3	<i>Registrazione AV per ogni step</i>	Ottotipo con luminanza controllata (280 lux)	—	Definire la variazione di AV in funzione della sfocatura miopica
4	<i>Ciclo positivo (defocus ipermetropico)</i>	Lenti positive	Da +3.00 D fino a 0.00 D, (step di 0.50 D)	Analizzare la risposta visiva oltre il fuoco
5	<i>Registrazione AV per ogni step</i>	Ottotipo con luminanza controllata (280 lux)	—	Verificare la simmetria della risposta accomodativa intorno al fuoco
6	<i>Completamento delle misurazioni monoculari e binoculari</i>	Occlusore	Eseguire prima in mono e poi in bino	Valutare l'effetto di sommazione binoculare sulla profondità di fuoco
7	<i>Costruzione della curva di defocus</i>	Foglio Excel	Asse X = valori di defocus (D) e Asse Y = AV (logMAR)	Ottenere una rappresentazione grafica
8	<i>Analisi del profilo risultante</i>	—	Identificare picchi, plateau e calcolare DoF	Quantificare la prestazione ottica della visione fornita dai 2 tipi di LaC

Tabella 1: Sequenza operativa utilizzata per la costruzione della curva di defocus (metodo DC)

L'interpretazione delle curve di defocus nel presente studio è stata condotta secondo differenti approcci analitici, evidenziati in figura 3. In particolare, un primo livello di analisi ha previsto il confronto diretto dei valori di acuità visiva a specifici livelli di defocus, utile per evidenziare differenze puntuali tra i design ottici, in particolare nelle distanze di interesse clinico come l'intermedio e il vicino. A questo si è affiancata la valutazione della profondità di fuoco funzionale (DoF), definita come l'intervallo di defocus entro cui l'acuità visiva rimane al di sopra di un valore soglia (tipicamente 0.1 logMAR), indicativa della stabilità visiva e della tolleranza alla sfocatura del sistema ottico (Wolffsohn et al., 2019). Per una valutazione più globale, l'analisi è stata integrata con il concetto di area sotto la curva (AUC), che consente di quantificare la "visione utile" lungo l'intero range di defocus, distinguendo le prestazioni nelle regioni del lontano, intermedio e vicino.

Questo approccio risulta particolarmente efficace nel confronto tra differenti design di lenti a contatto, permettendo di evidenziare differenze funzionali anche quando i valori di acuità puntuali risultano simili (Wolffsohn et al., 2024). Infine, è stato considerato il concetto più recente di “acuity reserve”, che esprime la capacità del sistema visivo di mantenere una visione stabile rispetto alle richieste visive, fornendo un’indicazione sintetica ma clinicamente rilevante della qualità visiva nelle condizioni reali (Wolffsohn et al., 2024).

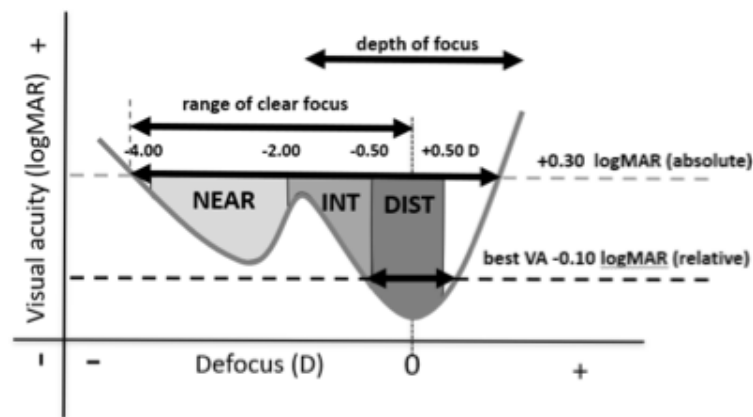


Figura 3: Rappresentazione schematica di una curva di defocus con i principali approcci di analisi: confronto diretto, profondità di fuoco (DoF) e area sotto la curva (AUC) (Wolffsohn et al., 2024)

In questo studio sono stati confrontati due tipi di LaC morbide per la compensazione della presbiopia:

1. Lenti giornaliere in Dayfilcon A (1-day EDOF, neutre), con le quali, in accordo con la letteratura, ci si aspetta una curva di defocus più piatta e continua, con un'estensione significativa della profondità di fuoco funzionale soprattutto nel range intermedio (-1.00/-2.50D), mantenendo al contempo una buona acuità visiva per lontano (Srinivasan et al., 2025).
2. Lenti mensili in silicone hydrogel Filcon 2 (addizione +1.00 D), che a differenza delle lenti EDOF, distribuiscono il potere ottico attraverso zone distinte o progressive, permettendo la formazione simultanea di immagini per lontano e vicino, successivamente integrate a livello neuro-percettivo. Dal punto di vista funzionale, tale configurazione ci si aspetta che si traduca in una curva di defocus caratterizzata da un profilo più ampio e articolato, con un'estensione della profondità di fuoco sia verso l'intermedio sia verso il vicino.

In particolare, rispetto alle lenti EDOF, le multifocali tradizionali tendono a mostrare una maggiore efficacia nella visione prossimale, grazie alla presenza di addizione positiva, a fronte di una possibile riduzione del contrasto e di una maggiore dipendenza da fattori quali diametro pupillare e centratura della lente (Kohnen et al., 2022; Bakaraju et al., 2018).

PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

L'analisi delle curve di defocus dei due tipi di lenti a contatto presi in esame ha evidenziato differenze rilevanti in termini di distribuzione della nitidezza e continuità visiva lungo le diverse distanze.

In particolare:

1. Le curve di defocus monoculari relative alle lenti giornaliere 1-day EDOF evidenziano un picco marcato di acuità visiva in corrispondenza del fuoco per lontano (0 D), con valori prossimi a 0.0 logMAR, come osservabile in figura 4. Tuttavia, si osserva un rapido decadimento della performance già a partire da -0.50 D, con una riduzione significativa dell'acuità visiva nelle distanze intermedie e prossimali (maggiore per l'occhio sinistro, non dominante). Questo andamento, caratterizzato da una pendenza accentuata e da un profilo a singolo picco, indica una profondità di fuoco funzionale limitata e una continuità visiva ridotta lungo il continuum delle distanze, come predetto dalla letteratura. Dal punto di vista soggettivo, tali risultati sono coerenti con la percezione riferita dal soggetto di una visione poco stabile, soprattutto al variare della distanza e delle condizioni di illuminazione.

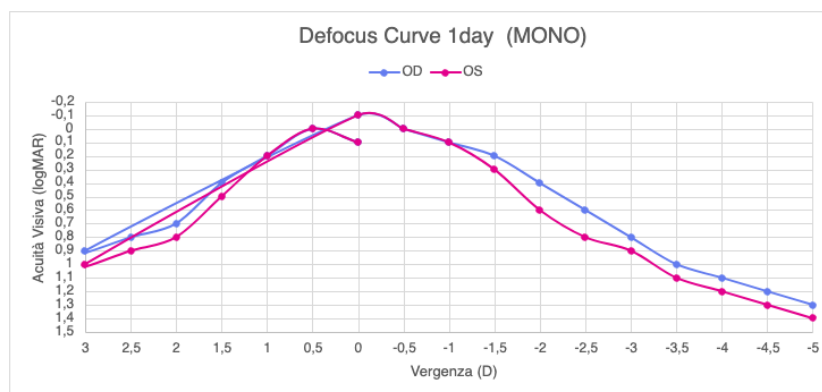


Figura 4: Curva di defocus monoculare (OD e OS) con LaC 1-day EDOF

2. Le curve di defocus monoculari relative alle lenti multifocali mensili evidenziano un profilo più regolare e una maggiore estensione funzionale rispetto al design EDOF, come osservabile in figura 5. L'acuità visiva si mantiene stabile fino a circa -1.50 D, con valori medi ≤ 0.2 logMAR, indicando una transizione graduale e continua verso le distanze intermedie e prossimali. Il picco per lontano (0 D) risulta lievemente inferiore (≈ 0.1 logMAR, maggiore per l'occhio destro dominante), ma è compensato da una migliore distribuzione della performance visiva lungo il continuum delle distanze. Questo andamento, caratterizzato da un plateau più ampio, riflette una maggiore profondità di fuoco funzionale (0/ -2.00 D) e una maggiore continuità visiva. Dal punto di vista soggettivo, tali risultati sono coerenti con la percezione di una visione stabile e confortevole sia per lontano sia per vicino.

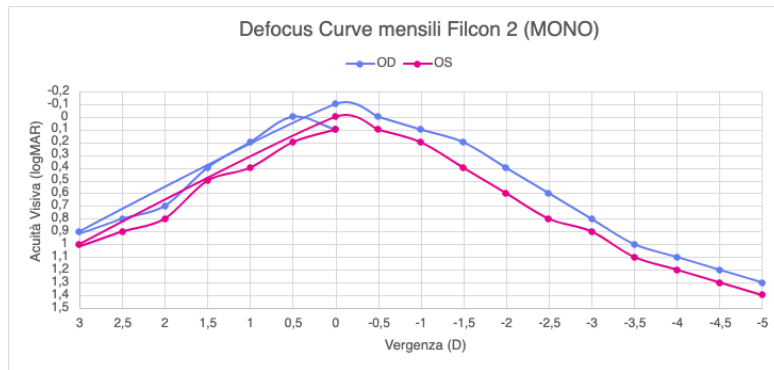


Figura 5: Curva di defocus monoculare (OD e OS) con LaC mensili multifocali in Filcon 2 (+1,00D)

La valutazione delle curve di defocus è stata condotta prima in condizioni monoculari perchè analizza il comportamento ottico del singolo occhio; la curva di defocus in condizioni binoculari, invece, è considerata più rappresentativa della reale esperienza visiva, in quanto integra i fenomeni di sommazione e integrazione neurale. In condizioni binoculari si osserva infatti un aumento della profondità di fuoco (del 20-25%) e una maggiore stabilità della visione lungo il range di defocus, con un miglioramento della performance (di 0.10-0.15 logMAR) soprattutto nelle distanze intermedie (Shafer et al., 2023; Tuan et al., 2024). Per questo motivo, in questo studio, per le considerazioni finali, sono stati confrontati i risultati paragonando le due curve binoculari.

Come anticipato dalle curve di defocus monoculari, con le lenti 1-day EDOF si osserva un profilo a singolo picco centrato su 0 D, con acuità visiva prossima a 0.0 logMAR, seguito da un rapido decadimento già a partire da -0.50 D e valori progressivamente ridotti fino alle distanze prossimali ($\approx 0.5-0.6$ logMAR a -3.00 D). Tale andamento, caratterizzato da una profondità di fuoco limitata ($\approx 0.75-1.00$ D) e da una curva a “V” stretta, conferma una resa visiva prevalentemente orientata al lontano e una scarsa continuità tra le distanze, come osservabile nel grafico in figura 6.

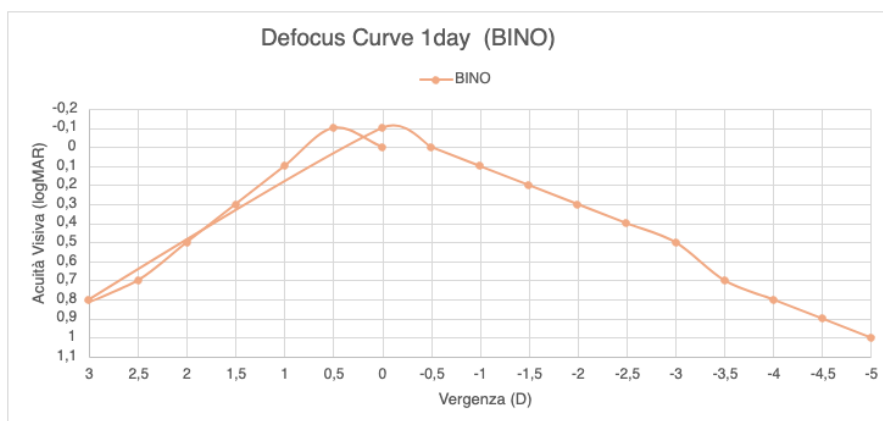


Figura 6: Curva di defocus binoculare con LaC 1-day EDOF

Al contrario, le lenti multifocali mensili in Filcon 2 mostrano un profilo più ampio e regolare, con due zone di massima resa visiva e un plateau esteso tra circa +0.50 e -2.00 D. L'acuità visiva si mantiene prossima a valori funzionali anche nelle distanze intermedie e prossimali, evidenziando una maggiore profondità di fuoco e una transizione più graduale tra i diversi piani focali, come osservabile in figura 7. Questo comportamento, coerente con il design centro-vicino asferico, si traduce clinicamente in una visione più stabile e continua lungo il continuum delle distanze, confermata anche dalla percezione soggettiva della paziente.

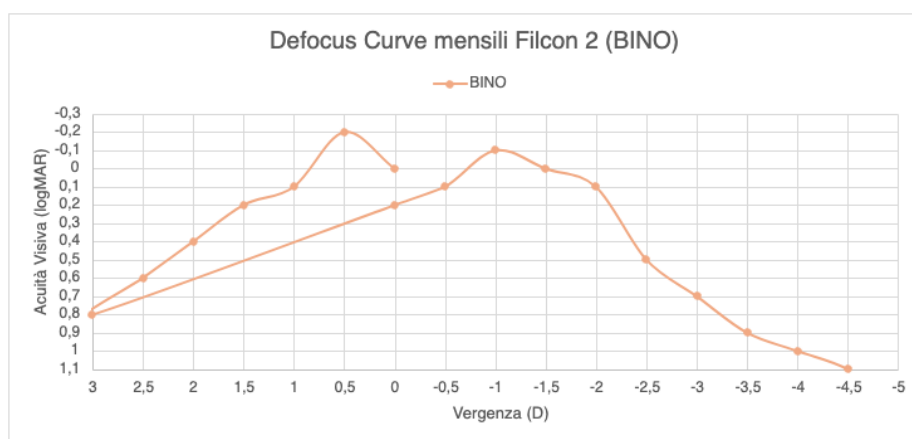


Figura 7: Curva di defocus binoculare con LaC mensili multifocali in Filcon 2 (+1,00D)

La tabella 2 sintetizza i risultati funzionali delle curve di defocus binoculari per le due tipologie di lenti a contatto testate, evidenziando differenze ottiche, percettive e cliniche utili alla gestione personalizzata della presbiopia nel soggetto esaminato.

Tipo di LaC	Design ottico	MAV (logMAR)	Range utile (0/-2.00D)	Profondità di fuoco stimata (DoF)	Percezione soggettiva
1-day EDOF (neutra)	Centro-lontano	-0.1	Limitato (~-0.75 D)	≈0.75 D	Visione nitida ma instabile; rapido calo con defocus negativo
Mensili multifocali (+1.00 D)	Centro-vicino asferico	-0.2	Esteso (~-2.00 D)	≈1.75 D	Visione confortevole e stabile; migliore resa intermedia e prossimale

Tabella 2: Confronto delle prestazioni visive e considerazioni cliniche tra 1-day EDOF e multifocali (+1.00D)

CONCLUSIONI

La presente tesi ha affrontato in modo sistematico il tema della correzione della presbiopia attraverso lenti a contatto multifocali, approfondendo le basi fisiologiche, ottiche e cliniche del fenomeno e introducendo la curva di defocus come strumento quantitativo per l'analisi e la comparazione dei diversi design. Dallo studio teorico e sperimentale condotto emerge come la curva di defocus rappresenti oggi uno dei metodi più completi e ripetibili per descrivere il comportamento funzionale del sistema visivo, consentendo di correlare la geometria della lente con la profondità di fuoco e la qualità percettiva della visione. Lo studio dei fattori che influenzano la forma e la simmetria della curva – tra cui diametro pupillare, aberrazioni sferiche, condizioni di illuminazione, dominanza oculare e adattamento neuro-percettivo – ha evidenziato la complessità delle interazioni tra parametri ottici e fisiologici. Nei moderni design multifocali, l'estensione della profondità di fuoco (DoF) è ottenuta attraverso una modulazione controllata delle aberrazioni di ordine superiore, in particolare dell'aberrazione sferica, che consente di migliorare la continuità visiva lungo il range di defocus a scapito di una minima riduzione del contrasto. La risposta visiva complessiva dipende quindi non solo dal design della lente, ma anche dal profilo refrattivo e dal comportamento accomodativo individuale.

Le lenti giornaliere EDOF hanno mostrato un picco di acuità visiva in corrispondenza del fuoco per lontano (0 D), con un rapido decadimento per i defocus negativi, indicativo di una profondità di fuoco leggermente limitata e di un comportamento ottico centro-lontano. Questo profilo si traduce clinicamente in una visione nitida per lontano ma discontinua alle distanze intermedie, con una percezione soggettiva di instabilità visiva. Le lenti multifocali Filcon 2, al contrario, hanno evidenziato un andamento più regolare, con una riduzione graduale dell'acuità visiva fino a circa -1.50 D, segno di una distribuzione di potere più progressiva e di una maggiore estensione della profondità di fuoco. Il lieve decremento dell'acuità visiva massima per lontano (≈ 0.1 logMAR) è compensato da una migliore resa nelle distanze intermedie e prossimali.

Le osservazioni cliniche hanno permesso di interpretare il comportamento ottico in termini di spostamento della curva lungo l'asse di defocus. È stato ipotizzato che una leggera variazione positiva del potere per lontano (+0.25 D) possa migliorare la simmetria del profilo della curva di defocus, spostando il picco massimo verso lo zero diottrico e ampliando la zona di visione utile senza penalizzare la nitidezza e la sensibilità al contrasto a distanza. Tale evidenza conferma che la curva di defocus rappresenta non solo uno strumento di valutazione oggettiva, ma anche una guida operativa per la messa a punto del potere refrattivo e per l'ottimizzazione del fitting multifocale post applicazione.

Dal confronto complessivo emerge che l'efficacia di una lente multifocale non risiede unicamente nella massima acuità visiva ottenibile, ma nella capacità di mantenere una visione stabile e funzionale lungo un ampio intervallo di defocus. La valutazione congiunta dei dati oggettivi (curva di defocus) e soggettivi (percezione di nitidezza e comfort visivo) consente di definire con maggiore precisione la qualità visiva funzionale del paziente e di individuare il miglior compromesso tra visione per lontano e prossimale. La curva di defocus si conferma, pertanto, uno strumento clinico di riferimento nella pratica optometrica moderna, utile per la selezione del design ottico, la verifica post-applicativa e la gestione personalizzata della presbiopia.

Le prospettive di ricerca e sviluppo futuro si orientano verso una stretta integrazione tra analisi ottica, misurazioni funzionali e modellizzazione predittiva. In particolare, possono essere individuate alcune direzioni principali:

1. Standardizzazione dei protocolli di misura, con definizione condivisa dei range di defocus, step di variazione e condizioni di luminanza, per garantire la comparabilità tra studi clinici e modelli di lente (Wolffsohn et al., 2024).
2. Integrazione della curva di defocus con analisi aberrometriche e pupillometriche, in modo da correlare la risposta visiva con parametri individuali come diametro pupillare, aberrazione sferica e dinamica accomodativa, migliorando la predittività del fitting (Piñero et al., 2015; Madrid-Costa et al., 2015).
3. Applicazione di modelli basati su intelligenza artificiale, in grado di simulare la curva teorica del soggetto a partire da dati biometrici e refrattivi, per supportare il clinico nella scelta del design e nella previsione della risposta visiva (Clavé et al., 2022).
4. Estensione del campione sperimentale, per permettere analisi statistiche più robuste e confermare le relazioni tra forma della curva, geometria della lente e soddisfazione soggettiva (Shafer et al., 2023).
5. Studio dell'adattamento neuro-percettivo nel tempo, volto a comprendere i meccanismi di plasticità corticale che consentono l'integrazione sensoriale e la selezione dell'immagine più nitida tra quelle simultaneamente proiettate da una lente multifocale (Wolffsohn & Davies, 2019; Tuan et al., 2024).

L'obiettivo è offrire uno strumento interpretativo rapido, che permetta al clinico di collegare i principi ottici ai risultati funzionali e di gestire la presbiopia in modo individualizzato, adattando la strategia correttiva alle esigenze reali del paziente. In questa prospettiva, la finalità dell'elaborato è duplice: da un lato, promuovere una maggiore consapevolezza scientifica sull'utilità della curva di defocus

come strumento di analisi clinica; dall'altro, sottolinearne la praticità operativa, quale supporto concreto nella scelta e nell'adattamento delle lenti multifocali. In questo senso, la curva di defocus, se correttamente interpretata, consente di integrare in un'unica analisi la componente ottica, fisiologica e percettiva del sistema visivo, diventando così un parametro chiave per la valutazione funzionale della qualità visiva, migliorando parallelamente la qualità di vita.

BIBLIOGRAFIA

- Alió, J. L., Plaza-Puche, A. B., Fernández-Buenaga, R., Pikkell, J., & Maldonado, M. (2020). Multifocal intraocular lenses: an overview. *Survey of Ophthalmology*.
- Atchison, D. A., & Smith, G. (2000). *Optics of the Human Eye*. Butterworth-Heinemann.
- Bakaraju, R. C., Ehrmann, K., Ho, A., & Papas, E. (2018). Extended depth of focus contact lenses vs two commercial multifocals: part 1—optical performance evaluation via computed through-focus retinal image quality metrics. *Journal of Optometry*.
- Clavé, L., Torrents, A., & Millán, M. S. (2022). Visual acuity at various distances and defocus curve: a good match. *Photonics*.
- Fricke, T. R., Tahhan, N., Resnikoff, S., Papas, E., Burnett, A., Ho, S. M., Naduvilath, T., & Naidoo, K. S. (2018). Global prevalence of presbyopia and vision impairment from uncorrected presbyopia: systematic review, meta-analysis, and modelling. *Ophthalmology*.
- Galvis, V., Tello, A., & Parra, M. M. (2020). Defocus curve and vergence related to visual performance in presbyopia correction. *Clinical Ophthalmology*, 14, 843–851.
- Kohnen, T., Lemp-Hull, J., & Suryakumar, R. (2022). Defocus curves: focusing on factors influencing assessment. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 48(8), 961–968.
- Madrid-Costa, D., Ruiz-Alcocer, J., Ferrer-Blasco, T., García-Lázaro, S., & Montés-Micó, R. (2015). Visual performance of multifocal contact lenses. *Clinical and Experimental Optometry*.
- Piñero, D. P., Carracedo, G., Ruiz-Fortes, P., & Pérez-Cambrodí, R. J. (2015). Soft versus hybrid multifocal contact lenses: defocus curve comparison. *Clinical and Experimental Optometry*, 98(5), 455–460.
- Shafer, B., et al. (2023). Binocular defocus curve and functional depth of focus in presbyopia correction.
- Srinivasan, S., et al. (2025). Extended depth of focus intraocular lenses: systematic review and meta-analysis. *BMJ Open Ophthalmology*.
- Tuan, K. M., et al. (2024). Binocular summation and visual performance in multifocal optical systems.
- Wolffsohn, J. S., & Davies, L. N. (2019). Presbyopia: effectiveness of correction strategies. *Ophthalmic and Physiological Optics*.
- Wolffsohn, J. S., et al. (2019). Clinical evaluation of depth of focus in presbyopia.
- Wolffsohn, J. S., et al. (2024). Defocus curve analysis and clinical applications in presbyopia management.