

REFRAZIONE SOGGETTIVA: UN NUOVO METODO VETTORIALE PER LA DETERMINAZIONE DEL CILINDRO (3/3)

La tecnica di refrazione tradizionalmente utilizzata per determinare il cilindro di correzione di una prescrizione è cambiata molto poco negli anni. La ragione principale è il limite imposto dai forotteri soggettivi che fanno scorrere lenti a incrementi normalmente di 0,25 diottrie.

Oggi, grazie ai forotteri a variazioni continue di potere che consentono un'azione simultanea e precisa sulla sfera, sul cilindro e sull'asse di correzione, è possibile sviluppare nuove tecniche di refrazione. Questa serie di tre articoli descrive i principi di un nuovo metodo vettoriale per la determinazione del cilindro di correzione e illustra la logica di un algoritmo automatizzato per la ricerca del cilindro ad esso associato.



Hélène Starynkevitch

Responsabile degli studi R&S
Divisione Strumenti
Essilor International

Hélène Starynkevitch è laureata in Ottica presso l'Institut et Centre d'Optométrie (ICO) di Bures-sur-Yvette, in Francia (2013), e ha studiato Ingegneria Sanitaria con specializzazione in Scienze della visione presso l'Université d'Orsay Paris Sud XI (2016). Attualmente è ingegnere ricercatrice presso il Dipartimento R&S di Essilor Instruments, dove lavora allo sviluppo di metodi e algoritmi di esami oculistici eseguiti con nuovi strumenti e alla progettazione di interfacce per gli ottici. È inoltre responsabile degli studi di optometria relativi al confronto strumentale e/o delle metodologie di esame oculistico. Hélène ha fatto infine volontariato per VisionSoliDev, offrendo esami oculistici a persone svantaggiate.



Gildas Marin

Responsabile degli studi R&S
Dipartimento R&S Scienze della Visione
Essilor International

Gildas Marin vive a Parigi. Titolare di un dottorato di ricerca, è un senior vision scientist presso il Centro europeo in Innovazione e tecnologia di Essilor e membro del team R&S in Scienze della visione di Essilor International. Laureato all'Institut of Optics Graduate School, Gildas ha completato la sua formazione nel 1997 con una tesi di dottorato sull'imaging medico presso l'Institut of Optics, in collaborazione con l'Ospedale Pitié-Salpêtrière (Parigi). Le sue principali aree di ricerca sono la modellizzazione della vista, la simulazione degli effetti ottici e delle prestazioni visive, in particolare l'impatto delle aberrazioni ottiche sulla vista. Ultimamente, ha lavorato al miglioramento delle metodologie di refrazione. Dal 2015, è responsabile del programma di ricerca sullo sviluppo e la validazione di algoritmi e dei metodi di refrazione di precisione implementati nel Vision-R™ 800 e nelle lenti AVA™ (Advanced Vision Accuracy).



Dominique Meslin

Direttore delle Soluzioni di refrazione
Divisione Strumenti
Essilor International

Formatosi in Francia come ottico e optometrista, Dominique Meslin ha trascorso quasi tutta la sua carriera professionale all'interno di Essilor. Ha iniziato nel dipartimento di Ricerca e Sviluppo lavorando su studi di ottica fisiologica, per poi passare a diverse posizioni di Marketing Tecnico e Comunicazione per Essilor International, in Francia e anche negli Stati Uniti. Per più di 10 anni, Dominique è stato direttore di Essilor Academy Europe. Si è poi concentrato sul settore Rapporti professionali per Essilor Europe. Attualmente è responsabile delle nuove soluzioni di refrazione per la Divisione Strumenti di Essilor International. Nel corso della sua carriera, Dominique ha condotto numerosi seminari di formazione per i professionisti della vista. È autore di numerosi articoli scientifici e pubblicazioni tecniche di Essilor, tra cui la collana "Ophthalmic Optics Files".

PAROLE CHIAVE

Refrazione soggettiva, refrazione vettoriale, spazio diottrico, ricerca del cilindro, cilindri crociati, forottero, algoritmo di refrazione, Vision-R™ 800.

Dopo gli articoli precedenti (pubblicati da Points de Vue nel novembre e nel dicembre 2020), continuiamo la presentazione e la discussione del nostro nuovo metodo vettoriale per la determinazione del cilindro. In questo terzo ed ultimo articolo confronteremo i metodi impiegati nella "refrazione tradizionale" e nella "refrazione digitale" per determinare il cilindro e i loro percorsi nello spazio diottrico. Discuteremo poi dei contributi del nuovo metodo della "Digital Infinite Refraction™" alla procedura di refrazione e delle nuove prospettive offerte.

4) Metodo di determinazione del cilindro mediante la "refrazione tradizionale": un percorso indiretto, con modifiche dei riferimenti permanenti che ne limitano la precisione.

Come illustrato in precedenza, il metodo "tradizionale" di determinazione del cilindro consiste innanzitutto nella ricerca dell'asse del cilindro, poi del potere di tale cilindro e, infine, nella regolazione del potere della sfera. Questo metodo viene realizzato mediante una serie di test dell'asse e poi tramite una successione di test del potere del cilindro, che sfruttano le tecniche "tradizionali" presentate in precedenza.

Per determinare l'asse del cilindro, la sua direzione viene progressivamente ricercata mediante, ad esempio, incrementi di 5° tra ogni direzione dell'asse testata, fino a trovare il suo orientamento finale (nel caso di una percezione identica della sfocatura nelle due posizioni del cilindro crociato) o fino a determinare l'orientamento dell'asse all'interno di un angolo di 5° (nel caso di un'inversione nelle risposte del cliente).

Per determinare il potere del cilindro, il suo valore viene ricercato aumentandolo o riducendolo, mediante incrementi di (-0,25) D, fino a trovare il valore esatto (nel caso di una sfocatura identica nelle due posizioni del cilindro crociato) o fino a inquadrare il suo valore all'interno di due incrementi di (-0,25) D (nel caso di un'inversione nelle risposte del cliente).

(*) Forottero Vision-R 800 a variazioni continue di potere sviluppato da Essilor Instruments.

Prendiamo nuovamente in considerazione il nostro esempio di una formula di refrazione iniziale di +1,00 (-2,00) 30°, rappresentata da un vettore iniziale situato sul piano J0° / J45° (si veda la figura 7), e iniziamo a cercare la refrazione. Le prime fasi consistono nella ricerca dell'asse del cilindro, eseguendo successivamente più test dell'asse (mediante la tecnica "tradizionale" illustrata in precedenza, ossia tramite il capovolgimento di un cilindro crociato il cui manico è orientato in base alla direzione dell'asse da testare) e seguendo le risposte del cliente. Successivamente, viene testata la direzione di 30° (1), in cui il cliente "chiede", ad esempio, che venga aumentata, e poi la direzione di 35° (2) in cui il cliente chiede nuovamente un aumento e, infine, la direzione 40° (3) in cui il cliente chiede invece una diminuzione. Viene quindi scelto un orientamento compreso tra le ultime due direzioni testate, ad esempio di 38° (4), per il quale viene determinato, ad esempio dopo averlo nuovamente testato, che il cliente non percepisce più alcuna differenza tra le due posizioni del cilindro crociato: l'asse è stato dunque individuato ed è pari a 38°.

Viene poi condotta la ricerca del potere del cilindro, eseguendo successivamente più test di poteri crescenti (o decrescenti) del cilindro con incrementi di (-0,25) D (con la tecnica "tradizionale", illustrata in precedenza, ossia mediante il capovolgimento di un cilindro crociato i cui meridiani principali corrispondono all'asse del cilindro da testare) e seguendo le risposte del cliente. Viene in tal modo testato il potere (-2,00) D (4) che il cliente chiede, ad esempio, di aumentare, quindi il potere (-2,25) D (5), ch'egli chiede nuovamente di aumentare, poi il potere (-2,50) D (6) che il cliente chiede ancora di aumentare e, infine, il potere (-2,75) D (7) ch'egli chiede di ridurre. Viene quindi ridotto il potere

del cilindro di (-0,25) D e, poiché (-0,50) D è stato aggiunto al cilindro di correzione iniziale, la sfera viene corretta di +0,25 D, conducendo alla formula finale di +1,25 (-2,50) 38°.

Graficamente, la ricerca del cilindro si traduce nello spazio diottrico con il fatto che:

- Le prime fasi - (1), (2), (3) e (4) - di ricerca dell'asse del cilindro vengono eseguite sul piano J0° / J45° lungo una linea "circolare" di potere del cilindro costante pari a (-2,00) D, conducendo a una localizzazione dell'asse tra 35° e 40°, nell'esempio, e individuata a 38°.
- Le fasi successive - (4), (5), (6) e (7) - di ricerca del potere del cilindro sono eseguite lungo una direzione d'asse costante - 38° - aumentando il potere, ossia allontanandosi in modo "radiale" dall'origine del riferimento. Con questo aumento del potere del cilindro, l'equivalente sferico (o potere medio) diminuisce. Ciò si traduce graficamente con il fatto che i punti (5), (6) e (7) "sprofondano" progressivamente sotto al piano J0° / J45° mano a mano che il potere del cilindro aumenta.
- L'ultima fase - (8) - di riduzione del cilindro e di regolazione finale della sfera viene eseguita mediante una riduzione "radiale" del potere del cilindro e una regolazione verso la convessità del potere della sfera e, quindi, tramite una "risalita" del punto (8) nel piano J0° / J45° (compensazione di +0,25 D della sfera dopo l'aumento di (-0,50) D del cilindro).

A questo punto possiamo formulare le seguenti osservazioni:

- Il percorso seguito dalla tecnica tradizionale per la ricerca del cilindro sembra piuttosto indiretto. Ciò appare chiaramente nella figura 7 nel modo in cui lo spazio diottrico viene esplorato: innanzitutto in modo

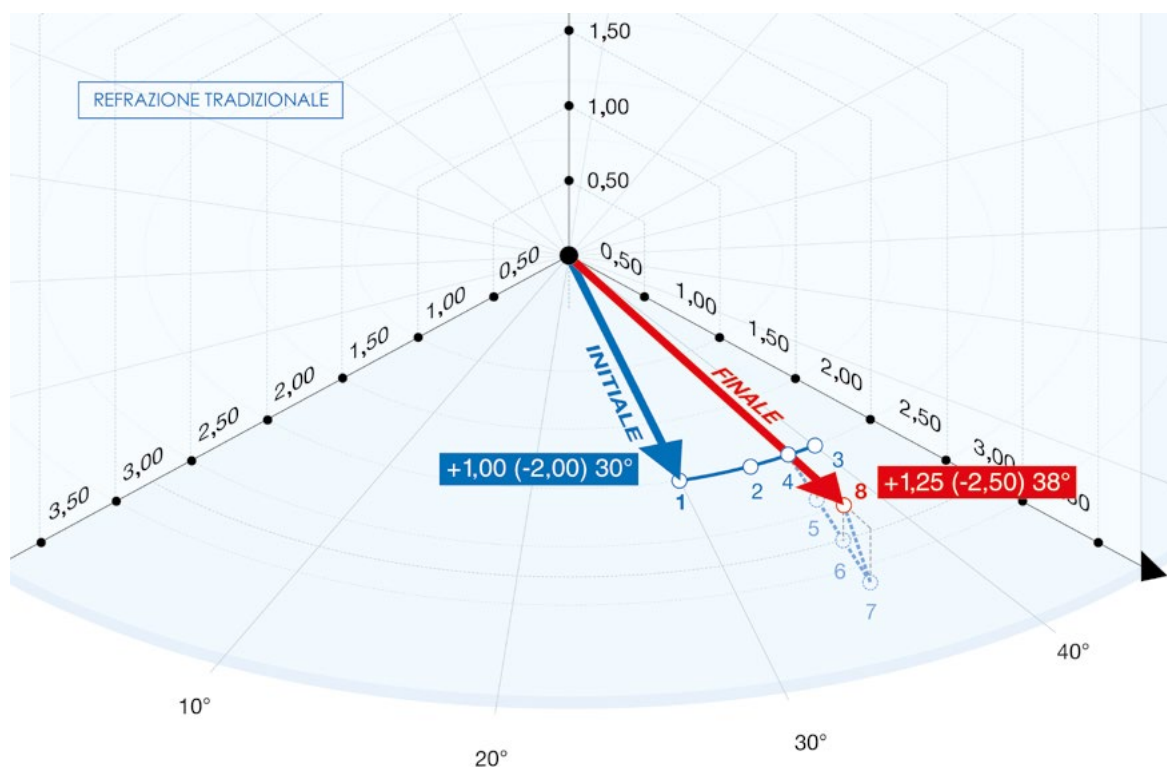


Figura 7: Metodo di ricerca del cilindro mediante la "Refrazione Tradizionale":
Asse del cilindro e poi potere del cilindro, seguiti dalla regolazione della sfera.

"circolare" per la ricerca dell'asse, quindi in modo "radiale" per la ricerca del potere, con un effetto "sull'altezza" che viene successivamente compensato. Va ricordato che questa modalità di esplorazione è direttamente legata ai limiti imposti dai forotteri tradizionali con scorrimento delle lenti e, in particolare, al fatto che gli interventi sulla sfera, sull'asse del cilindro e sul potere del cilindro, sono eseguiti separatamente, mai simultaneamente, e sempre con incrementi di 0,25 D.

- La ricerca del cilindro mediante la tecnica "tradizionale" avviene in un sistema di riferimento che viene modificato ad ogni risposta del cliente: da un lato, durante la modifica dell'asse del cilindro, perché il potere del cilindro non viene regolato in seguito alla modifica dell'asse, e, dall'altro, durante la modifica del potere del cilindro, perché il potere della sfera non viene regolato in modo da mantenere costante l'equivalente sferico. Infatti, si cerca di determinare separatamente le due componenti dell'asse e del potere del cilindro. Tuttavia, nella loro espressione polare, queste componenti sono intimamente legate tra loro e qualsivoglia modifica dell'una influenza inevitabilmente la percezione dell'altra. Pertanto, durante la ricerca dell'asse del cilindro, ogni test dell'asse viene realizzato, come illustrato nella sezione 3 a) della presente pubblicazione, perpendicolarmente alla sua direzione, con un orientamento che varia ad ogni modifica dell'asse del cilindro. Inoltre, durante la ricerca del potere, ogni test di potere realizzato viene eseguito con un potere sferico equivalente variabile. Di conseguenza, il riferimento di ricerca del cilindro è "mutevole" durante tutta la ricerca del cilindro, rendendo la sua determinazione meno rigorosa. Si noti che a ciò vanno aggiunte la variabilità delle risposte del cliente e una loro potenziale incoerenza.
- Durante la ricerca del cilindro, gli incrementi di variazione del potere e dell'asse restano per lo più costanti: incremento di 0,25 D per il potere, come imposto dalle lenti disponibili nei forotteri, e incremento di 5° per l'asse, come proposto di base dal forottero o scelto dall'ottico, anche se una scelta differente sarebbe possibile. Si noti che questi incrementi restano generalmente gli stessi indipendentemente dal potere del cilindro, basso o elevato, e indipendentemente dalla sensibilità del cliente alle modifiche diottriche. Inoltre, si noti che questi intervalli sono spesso superiori alla sensibilità diottrica dei clienti. Durante gli esami di refrazione, è stato infatti misurato che essa era inferiore a 0,25 D per il 95% dei clienti e inferiore a 0,125 D per il 44% di loro, ossia quasi la metà dei soggetti⁽⁷⁾.
- Nel metodo dei cilindri crociati di Jackson, vengono confrontate le visioni sfocate e diversamente deformate dei punti, o degli ottotipi, che non sono sempre facili da valutare per il cliente e che possono necessitare quindi la ripetizione dei test. Il valore del cilindro crociato di +/- 0,25 D, generalmente utilizzato, può dimostrarsi insufficiente per generare differenze sufficientemente significative per essere percepite dal cliente. Inoltre, la ricerca dell'asse del cilindro, come quella del suo potere, si concludono con un'uguale

visione sfocata nelle due posizioni del cilindro crociato, che può essere difficile da valutare per il cliente e che potrebbe rivelarsi perturbante. Potrebbe sembrargli infatti strano che la ricerca del cilindro termini quando la sua visione è sfocata in tutte le situazioni!

- Nella ricerca tradizionale del cilindro, l'esperienza dell'ottico è un fattore essenziale. Innanzitutto, perché la padronanza della tecnica dei cilindri crociati di Jackson richiede una buona pratica e una solida esperienza. E poi perché l'ottico deve valutare e interpretare tutte le risposte del cliente per eseguire la ricerca del cilindro e prendere determinate decisioni, come quella di modificare la direzione dell'asse del cilindro su quella richiesta dal cliente, o di interrompere la ricerca dell'asse del cilindro per passare alla ricerca del potere, o ancora quella di considerare che la ricerca del cilindro sia terminata. Infine, perché l'ottico esegue simultaneamente una refrazione-prescrizione, ossia vengono contemporaneamente condotte la misurazione della refrazione e l'interpretazione dei risultati per prendere decisioni relative alla prescrizione: per esempio, la sotto-correzione del potere del cilindro o della sfera, la moderazione della modifica dell'asse e la decisione di interrompere la ricerca del cilindro. È per questo, ad esempio, che il risultato di una refrazione può dipendere dall'ottico che la esegue e che esso presenta inevitabilmente una certa componente di variabilità. Non bisogna quindi esitare a considerare la refrazione soggettiva tradizionale come doppiamente soggettiva, perché essa viene contemporaneamente condotta in funzione della valutazione soggettiva del cliente e dell'interpretazione soggettiva dell'ottico!

Diventa evidente che il metodo di ricerca del cilindro tramite la tecnica della refrazione "tradizionale" presenta intrinsecamente alcuni limiti, al contempo legati alla coerenza delle risposte del cliente e alla precisione degli incrementi diottrici utilizzati. Ciò non consente di determinare la refrazione con una precisione sufficiente per individuare la sensibilità diottrica reale dei clienti.

2) Metodo di determinazione del cilindro mediante la "Digital Infinite Refraction™": un percorso diretto, con un riferimento coerente e una doppia iterazione, che garantisce una notevole precisione.

Il metodo utilizzato nella refrazione "digitale" per determinare il cilindro consiste - in base alla scelta effettuata - nel cercare innanzitutto la componente di potere del cilindro, in base alla direzione dell'asse della refrazione iniziale, e poi nel cercare la componente d'asse del cilindro lungo una direzione perpendicolare a tale asse iniziale. Ciò è reso possibile da una gestione vettoriale delle componenti del cilindro, che induce una regolazione del potere del cilindro durante tutte le modifiche del suo asse. La determinazione del cilindro viene inoltre eseguita mantenendo costante il potere equivalente sferico durante l'intero processo. Questa ricerca si basa su due nuovi principi:

- Il primo principio è quello di testare sempre la componente di potere del cilindro in base alla direzione dell'asse della refrazione iniziale, oppure in base a una direzione parallela nello spazio diottrico, e di testare sempre la componente d'asse del cilindro in base a una direzione perpendicolare alla direzione dell'asse iniziale. In tal modo la ricerca delle due componenti di potere e asse viene eseguita in base a due direzioni fisse e in modo indipendente l'una dall'altra.
- Il secondo principio è quello di cercare sempre le inversioni nelle risposte del cliente, invece delle uguaglianze come nel metodo "tradizionale", e di condurre una stima statistica del valore più probabile di ciascuna delle componenti di potere e asse del cilindro, sulla totalità delle risposte fornite dal cliente, e non, come nel metodo "tradizionale", tramite una decisione presa, relativamente all'asse e poi al potere, sull'ultima risposta valutata dall'ottico.

Per quanto riguarda la determinazione della componente di potere, essa comincia sull'asse iniziale con un aumento - o una riduzione - del potere di un incremento, scelto ma configurabile, pari a (-0,35) D, fino ad ottenere una prima inversione nella risposta del cliente. Durante questa fase, l'asse resta fisso e solo il potere del cilindro varia, con una regolazione corrispondente del valore della sfera. Viene in tal modo determinato un primo valore del potere, a metà strada tra gli ultime due poteri cilindrici testati.

La determinazione della componente d'asse continua poi lungo la direzione perpendicolare alla sua direzione iniziale, testando gli effetti di cambiamento d'asse indotti da una variazione di 0,70 D positiva e negativa (utilizzo di un cilindro crociato virtuale di +/- 0,35 D il cui valore è stato prescelto, ma che potrebbe essere modificato nell'algoritmo). Con ogni risposta fornita dal cliente, l'asse viene modificato nel senso desiderato e in base a una direzione che resta costante nello spazio diottrico, grazie alla regolazione del potere del cilindro e alla compensazione corrispondente del potere della sfera. Viene poi cercata una seconda inversione nelle risposte del cliente, relativa, questa volta, alla direzione dell'asse. In tal modo viene determinato un primo valore dell'asse a metà strada tra le ultime due direzioni testate, quelle che hanno ottenuto due risposte contrarie del cliente. Prendiamo nuovamente il nostro esempio di una correzione iniziale di +1,00 (-2,00) 30°, rappresentata da un vettore iniziale situato sul piano J0° / J45° (figura 8). Le prime fasi consistono nel condurre più test del potere (con la tecnica della refrazione "digitale" illustrata in precedenza), in base alla direzione di 30° e seguendo le risposte del cliente. Viene in tal modo testato il potere (-2,00) D (1) che il cliente chiede di aumentare, quindi il potere (-2,35) D che chiede nuovamente di aumentare (2) e infine il potere (-2,70) D che il cliente chiede di ridurre. Si ottiene quindi una prima stima del potere del cilindro su (-2,52) D in base all'asse di 30°, che corrisponde al valore medio degli ultimi due poteri testati. Si noti che ogni modifica del potere è sempre accompagnata da una compensazione della sfera, di una quantità opposta pari alla metà, per mantenere costante l'equivalente sferico.

Viene poi eseguita la ricerca della componente d'asse del cilindro in base alla direzione perpendicolare all'asse iniziale (utilizzando la tecnica della refrazione "digitale" illustrata in precedenza) e seguendo le risposte del cliente. Viene inizialmente testato, ad esempio, l'asse di 30° (4) che il cliente chiede di aumentare, poi l'asse di 34° (5) che chiede nuovamente di aumentare e, infine, l'asse di 38° (6) che il cliente chiede ora di ridurre. L'inversione della risposta cercata sarà stata ottenuta e per l'angolo verrà conservato il valore intermedio delle ultime due direzioni testate, ossia 36°. Si noti che per ogni variazione dell'asse, il potere del cilindro viene regolato e il potere della sfera viene compensato di conseguenza.

In tal modo si ottiene la formula +1,24 (-2,49) 36°, dopo un'inversione delle risposte in base all'asse della correzione iniziale e un'inversione delle risposte in base alla direzione perpendicolare.

Graficamente, ciò si traduce nello spazio diottrico con il fatto che:

- Le prime fasi - (1), (2), (3) e (4) - di ricerca della componente di potere del cilindro vengono eseguite in base alla direzione di 30° e restano situate sul piano J0° / J45°, contrariamente a quanto avviene nella refrazione tradizionale (in cui si spostano progressivamente sotto al piano J0° / J45°).
- Le fasi successive - (4), (5), (6) e (7) - di ricerca della componente assiale del cilindro vengono eseguite in base a una direzione perpendicolare a quella dell'asse iniziale, partendo dal punto (4). Questi punti sono allineati sulla stessa retta, che è la mediana del segmento che collega i punti (2) e (3) - ossia la perpendicolare al suo centro; invece di trovarsi, come nel caso della refrazione "tradizionale", lungo un cerchio centrato sull'origine del riferimento corrispondente al potere del cilindro iniziale. Questi punti sono tutti rigorosamente situati sul piano J0° / J45°, ossia il piano su cui viene eseguita l'intera ricerca del cilindro.

Possiamo ora formulare varie osservazioni:

- Il percorso seguito dal metodo "digitale" per la ricerca del cilindro è molto più diretto di quello seguito dal metodo "tradizionale". La sua rappresentazione nello spazio diottrico (figura 8) mostra che la ricerca avviene, innanzitutto, in modo "radiale" - in base alla direzione dell'asse iniziale del cilindro - per cercare la componente di potere del cilindro; quindi, lungo una retta perpendicolare alla direzione dell'asse iniziale, per cercare la componente d'asse del cilindro, restando sempre sul piano J0° / J45°. Come spiegato in precedenza, ciò è dovuto al fatto che tutte le variazioni di potere del cilindro sono automaticamente compensate sul potere della sfera e che, grazie alla gestione con componenti vettoriali, ogni modifica dell'asse genera una regolazione del potere del cilindro e, di conseguenza, una compensazione del potere della sfera.
- Il sistema di riferimento in cui viene eseguita la ricerca del cilindro resta costante durante l'intera ricerca: i test del potere e dell'asse sono sempre eseguiti in base alle stesse direzioni rispettive e perpendicolari tra loro: la

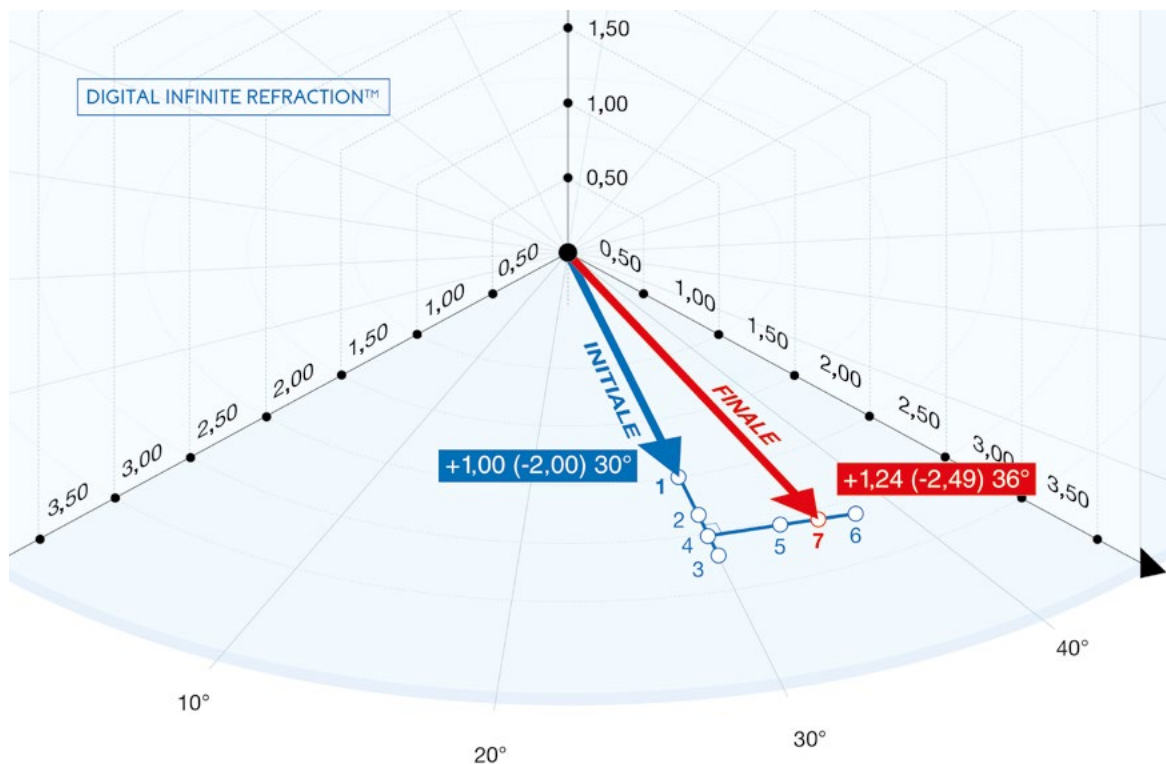


Figura 8: Metodo di ricerca del cilindro mediante la "Digital Infinite Refraction™":
potere del cilindro e poi asse del cilindro, con compensazione simultanea del potere del cilindro
e mantenimento costante del potere equivalente sferico

direzione dell'asse del cilindro iniziale, per la ricerca del potere, e la direzione ad essa perpendicolare, per la ricerca dell'asse. In altri termini, la ricerca del cilindro viene eseguita in base alle sue componenti vettoriali su direzioni costanti. Questa tecnica "vettoriale" consente di conservare una maggiore coerenza durante le domande rivolte al cliente e di aumentare la precisione nella determinazione del cilindro. Infatti, essa offre la possibilità di accumulare le risposte del cliente in base a due direzioni costanti e di stimare il potere e l'asse del cilindro in modo statistico e non in base all'ultima risposta unica del cliente, come nel caso della "refrazione tradizionale". Torneremo in seguito su questo punto.

– Il potere e l'asse del cilindro si precisano durante la ricerca:

- L'incremento di modifica del potere del cilindro è inizialmente più elevato nel metodo "digitale" rispetto al metodo "tradizionale": è di (0,35) D rispetto a (0,25) D, consentendo una ricerca più rapida del potere e facilitando le risposte del cliente. Questo incremento si riduce poi progressivamente: viene dimezzato dopo l'ottenimento della prima inversione nelle risposte del cliente e diminuirà ancora successivamente. Potrà inoltre essere nuovamente aumentato in caso di risposte incoerenti. Si noti che nella refrazione "tradizionale" questo incremento resterebbe costante e pari a 0,25 D durante l'intera ricerca.
- L'incremento di modifica dell'asse del cilindro è diottricamente costante e identico a quello utilizzato per la ricerca del potere del cilindro, ossia pari a 0,35 D all'avvio. Ciò presenta il vantaggio di creare modifiche degli assi che, tradotte in diottrie, producono

delle variazioni di percezione omogenee per il cliente, rispetto a quelle percepite durante la ricerca del potere. Questo incremento viene poi dimezzato durante la prima inversione nelle risposte del cliente, relative al test dell'asse, e successivamente sarà ulteriormente affinato. Potrà inoltre essere nuovamente aumentato in caso di risposte incoerenti.

Al contrario, nella refrazione "tradizionale", l'incremento di variazione dell'asse viene scelto dall'ottico ed è spesso di 5° indipendentemente dal valore del cilindro. Ciò presenta due conseguenze importanti: da un lato, l'effetto diottrico prodotto dalla variazione dell'asse del cilindro varia da un cliente all'altro, perché esso dipende dal potere del cilindro; e dall'altro, tale effetto non è omogeneo rispetto a quello utilizzato per determinare il potere, e questo per tutti i clienti. In altri termini, il fatto che l'incremento di modifica dell'asse venga scelto dall'ottico, e che possa avere un angolo costante, lo rende molto variabile dal punto di vista diottrico!

- Inoltre, nella refrazione "digitale", le due componenti di potere e asse del cilindro sono valutate tramite l'inquadratura del valore ricercato e in base alle inversioni nelle risposte del cliente. Esse vengono stimate, l'una indipendentemente dall'altra e in modo statistico, sulla totalità delle risposte fornite dal cliente. Torneremo in seguito su questo punto.

Nella refrazione "tradizionale" i valori di potere e asse del cilindro sono invece determinati dalla risposta finale del cliente, quando egli valuta due proposte sfocate come equivalenti, e dalla decisione presa dall'ottico. È quindi inevitabile che una certa parte di soggettività, quindi di variabilità, influenzi il risultato.

In tal modo, con il metodo della "Digital Infinite Refraction™", che sfrutta un algoritmo automatizzato, la ricerca del cilindro diventa indipendente dalla tecnica dell'ottico e dalle sue decisioni. Essa consiste nel determinare un valore grezzo della refrazione del cliente, che l'ottico potrà poi interpretare e modificare per realizzare la prescrizione.

Una seconda iterazione di ricerca del cilindro, per una maggiore accuratezza

Nella tecnica della "Digital Infinite Refraction™", la ricerca del cilindro non consiste, come nel caso della "refrazione tradizionale", in un'unica e semplice determinazione del cilindro. L'algoritmo di ricerca^(*) propone una seconda verifica del potere e dell'asse del cilindro, a seguito della prima ricerca. Il principio è quello di precisare la refrazione trovata durante una prima iterazione cercando, sempre sulla base delle stesse direzioni nello spazio diottrico, due nuove inversioni nelle risposte del cliente. In tal modo tutte le risposte vengono accumulate in base a due direzioni fisse - le componenti di potere e asse del cilindro - per analizzarle statisticamente e valutare delle soglie di potere e asse del cilindro, eseguendo simultaneamente una verifica della coerenza delle risposte del cliente. Vediamo in dettaglio il principio di questa seconda iterazione.

Dopo la prima ricerca del cilindro, la seconda iterazione avviene nel modo seguente:

- Innanzitutto, viene eseguita una seconda verifica della componente di potere del cilindro, sempre lungo la direzione dell'asse iniziale di 30° del nostro esempio, e ciò fino a quando non si osservi una nuova inversione nelle risposte del cliente. Questa seconda valutazione completa, precisa e conferma la prima valutazione del potere del cilindro, già realizzata in base a tale direzione durante la prima iterazione.
- Nello stesso modo, segue una seconda verifica della componente dell'asse del cilindro, anch'essa condotta lungo la perpendicolare alla direzione dell'asse iniziale, e ciò fino a quando non si osservi una nuova inversione nelle risposte del cliente. In tal modo è possibile realizzare una valutazione più precisa dell'asse.
- Durante ciascuna di queste inversioni nelle risposte, l'incremento diottrico di variazione del potere o dell'asse è nuovamente ridotto per affinare la ricerca. Va notato che questo incremento viene tuttavia mantenuto a un livello sufficiente per essere percepito dal cliente, ma che può essere anche, in caso di incoerenza nelle risposte, nuovamente aumentato.
- Per ogni componente del cilindro (potere e asse) vengono eseguiti un accumulo delle risposte fornite dal cliente e la loro analisi statistica. Più precisamente, l'accumulo delle risposte viene realizzato in base alla direzione dell'asse del cilindro iniziale per la componente di potere del cilindro, e in base alla direzione ad essa perpendicolare per la componente dell'asse del cilindro. In base a ciascuna di queste direzioni viene determinata,

sulla totalità delle risposte fornite dal cliente durante la prima e la seconda iterazione, una stima del valore più probabile di ciascuna delle componenti di potere e asse del cilindro ricercate. Vengono così determinate rispettivamente una soglia di potere del cilindro e una soglia dell'asse del cilindro, che costituiscono il risultato della refrazione precisa; esse sono calcolate in coordinate cartesiane e restituite in coordinate polari.

- Viene inoltre eseguita una verifica della coerenza delle risposte del cliente durante l'intera ricerca, per consentire di decidere quando interrompere la procedura o, al contrario, se è necessario proseguirla per affinare e confermare il risultato. Di conseguenza, più le risposte del cliente saranno coerenti, più la procedura di ricerca del cilindro sarà breve; al contrario, se le risposte non sono coerenti, sarà necessario continuare la ricerca fino all'ottenimento dell'affidabilità desiderata.

In tal modo si ottiene una refrazione finale precisa di +1,21 (-2,42) 35°.

Graficamente, questa seconda iterazione di ricerca del cilindro si traduce nello spazio diottrico (figura 9) con il fatto che:

- A seguito delle fasi da (1) a (6) della prima iterazione, e arrivando alla prima stima della refrazione, l'esame continua con le fasi da (7) a (12) di affinamento della refrazione.
- La seconda verifica della componente di potere del cilindro - fasi (7), (8) e (9) - viene eseguita lungo una parallela della direzione dell'asse del cilindro iniziale nello spazio diottrico: possiamo vedere nella figura 9 che la retta che unisce i punti (7), (8) e (9) è parallela a quella che unisce i punti (1), (2) e (3). La direzione iniziale utilizzata per la ricerca della componente di potere del cilindro è mantenuta costante, avendo però regolato la componente dell'asse sul suo valore più probabile dopo la prima iterazione.
- La seconda verifica della componente d'asse del cilindro - fasi (10), (11) e (12) - viene eseguita lungo una direzione perpendicolare all'asse del cilindro iniziale, di cui possiamo vedere nella figura 9 che è parallela alla retta che unisce i punti (4), (5) e (6). La direzione iniziale utilizzata per la ricerca della componente d'asse del cilindro è mantenuta costante, avendo però regolato la componente di potere sul suo valore più probabile, ottenuto dopo la seconda verifica.
- Si noterà inoltre che, contrariamente a ciò che avveniva durante la prima iterazione di ricerca del cilindro, il punto (7) non si trova esattamente al centro dei punti (5) e (6) - i punti per i quali è avvenuta l'inversione nelle risposte del cliente - ma si è leggermente spostato; allo stesso modo, osserviamo anche che il punto (10) non si trova tra i punti (8) e (9), ma che anch'esso si è spostato rispetto a questi ultimi. Ciò dipende dal fatto che, a partire dalla seconda iterazione di ricerca del cilindro, questi punti provengono da una stima del nuovo "punto" da testare condotta su tutte le risposte

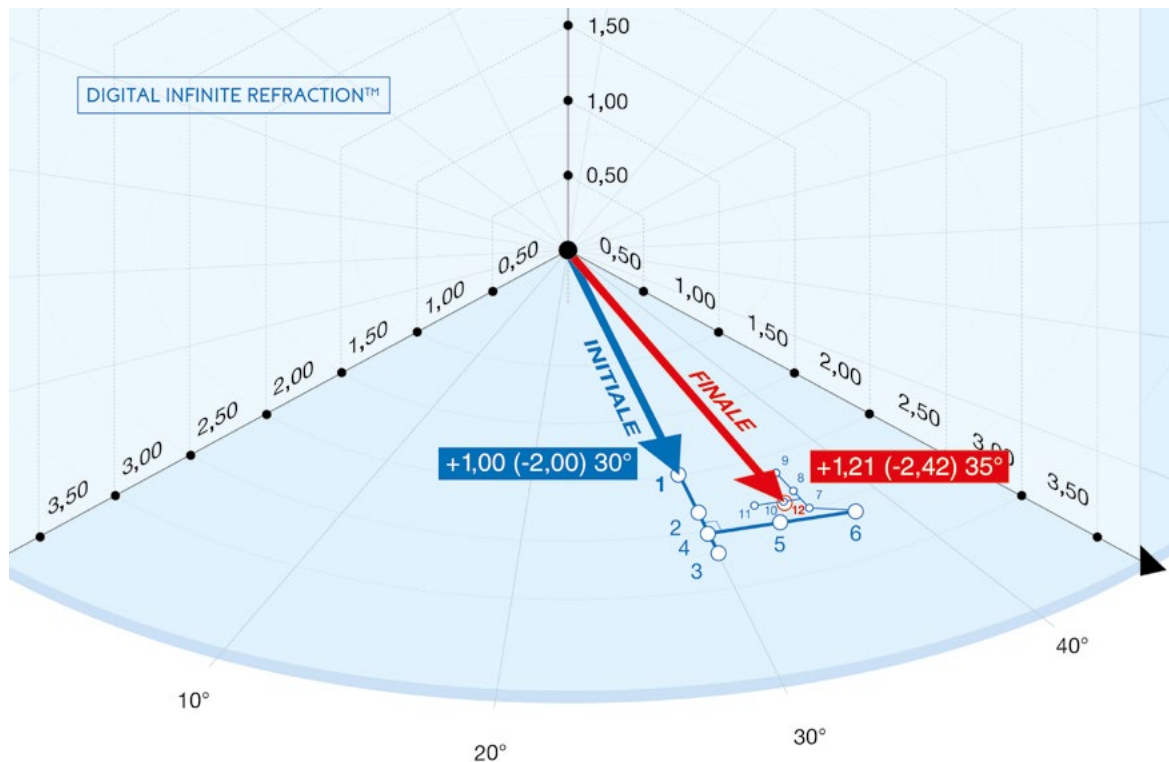


Figura 9: Algoritmo di ricerca del cilindro mediante la "Digital Infinite Refraction™"
Una doppia iterazione di ricerca del potere e dell'asse del cilindro nella stessa sequenza.

fornite dal cliente per la componente di potere e per quella dell'asse, rispettivamente. In altri termini, si tiene conto, durante la seconda iterazione, delle risposte che sono già state fornite dal cliente durante la prima iterazione. Si tratta del vantaggio centrale della tecnica vettoriale di refrazione: essere in grado di elaborare le due componenti di potere e asse indipendentemente l'una dall'altra e di accumulare le risposte in base a queste due direzioni, per eseguire un trattamento statistico e per valutare separatamente i valori più probabili del potere e dell'asse del cilindro.

Discussione:

Discutiamo ora dei contributi del nuovo metodo della "Digital Infinite Refraction™" e delle prospettive offerte:

- Un metodo di ricerca della refrazione coerente e preciso: l'approccio vettoriale utilizzato per determinare il cilindro consente di eseguire la refrazione con un riferimento coerente. Da un lato, lo stesso riferimento diottrico viene utilizzato durante l'intera ricerca, e, dall'altro, gli effetti diottrici prodotti durante la ricerca del potere e quella dell'asse restano coerenti. Questa tecnica consente di determinare il cilindro mediante incrementi di 0,01 D, con precisione al singolo grado, ossia con un'accuratezza che non era mai stata ottenuta in precedenza.
- L'utilizzo di metodi psicometrici per determinare la refrazione: il nuovo metodo consente di applicare tecniche di ricerca della soglia simili a quelle tradizionalmente utilizzate nella psicofisica. In tal modo non si è più limitati, come nella refrazione tradizionale, a valutare valori di sfera, cilindro e asse. Diventa possibile

determinare in modo statistico i valori di soglia più probabili delle tre componenti cartesiane della refrazione: sfera equivalente, componente orizzontale del cilindro J_0° e componente obliqua del cilindro J_{45}° . La refrazione diventa così una vera e propria misurazione fisiologica!

- Una precisione coerente con la sensibilità diottrica dei clienti: se la refrazione tradizionale con lenti con incrementi di 0,25 D non era sufficientemente precisa per tener conto della sensibilità diottrica reale dei clienti (spesso inferiore a 0,10 D), la nuova tecnica con incrementi ottici di 0,01 D consente di determinare la refrazione con un solo limite: tale sensibilità diottrica non è più il forottero a limitare la precisione della refrazione, ma la sensibilità del cliente. Meglio ancora, la nuova tecnica consente inoltre, durante l'esame di refrazione, di valutare la sensibilità diottrica di ogni cliente, fornendo un nuovo parametro integrativo che accompagna il risultato della refrazione e che ne consente l'interpretazione.
- Degli algoritmi assistono gli ottici durante la determinazione della refrazione: la formalizzazione delle logiche di refrazione, in particolare quella della ricerca del cilindro, nei test e nei programmi di refrazione automatizzati, consente una certa standardizzazione dei metodi di esame della refrazione. Ciò dovrebbe consentire di liberarsi dall'inevitabile variabilità della pratica e di rinforzare la riproducibilità dei risultati di refrazione da un ottico all'altro; in altri termini, di rendere la refrazione "sogettiva" più "oggettiva"!
- Una nuova sequenza d'esame "Refrazione e poi Prescrizione": il nuovo approccio offre inoltre una sequenza funzionale per la determinazione della

refrazione diversa dall'approccio tradizionale. Questo approccio consiste, inizialmente, nel determinare un valore di refrazione soggettiva grezzo tramite gli algoritmi del forottero e, successivamente, in un'interpretazione di questo risultato da parte dell'ottico per trasformarlo in decisioni relative alla prescrizione. In tal modo, invece di eseguire una determinazione classica simultanea "Refrazione-Prescrizione", ossia un'interpretazione dei risultati durante l'esame di refrazione stesso, con tutta la soggettività che ciò implica, viene proposta una nuova sequenza di "Refrazione e poi Prescrizione" successive. Questo nuovo approccio potrebbe contribuire a dissociare la "Refrazione" dalla "Prescrizione", trasformando la modalità di determinazione della refrazione.

- L'accesso a una gamma di lenti correttive con incrementi di 0,01 D: se la refrazione può oggi essere determinata con incrementi di 0,01 D, è evidente che questa accuratezza ha un interesse unicamente se possono essere proposte anche correzioni ottiche corrispondenti. Per questo, viene oggi offerta una nuova gamma di lenti correttive fabbricate per offrire incrementi di 0,01 D. Ciò è reso possibile dalla tecnologia di "trattamento superficiale digitale", già impiegata da più di un decennio. In tal modo, la precisione di determinazione della refrazione fornita dai nuovi forotteri consente oggi ai clienti di godere del pieno potenziale di precisione esistente nella fabbricazione delle lenti.

Conclusioni:

Benché i metodi di refrazione soggettiva non avessero subito evoluzioni da più di un secolo, conoscono ora una vera e propria rivoluzione. Con l'introduzione di forotteri a variazioni di potere continue, è possibile concepire nuove tecniche di esame e di ripensare l'approccio alla refrazione soggettiva. Come descritto in dettaglio in questa serie di tre articoli, la ricerca del cilindro correttore può essere realizzata in base a una nuova tecnica vettoriale, più coerente e precisa. Degli approcci simili sono inoltre stati sviluppati per altri test di refrazione: una nuova tecnica di sfocatura e messa a fuoco, la determinazione automatizzata della sfera, la realizzazione di un equilibrio binoculare esatto, l'approccio e la misurazione automatizzata dell'addizione della visione da vicino, ecc. La logica sviluppata per ciascuno di questi test è tradotta in algoritmi e implementata nei test di refrazione automatizzata. La concatenazione di questi test consente di creare programmi di refrazione che possono essere direttamente utilizzati dagli ottici e personalizzati in base alle necessità.

Attualmente, le prime versioni di test e programmi di refrazione sono state proposte e rese disponibili con il forottero di nuova generazione^(*). Grazie alla flessibilità totale del modulo ottico e dei comandi, si aprono le prospettive di un immenso campo di ricerca e innovazione nell'ambito dei metodi di refrazione del futuro. Domani potranno essere inventati nuovi test, algoritmi, programmi, protocolli, metodi, ecc. E poiché questi forotteri di nuova generazione sono strumenti connessi, sarà possibile arricchirli regolarmente con gli ultimi progressi realizzati,

aggiornando i loro software a distanza. Inoltre, la semplicità d'uso dei programmi e la connettività dei forotteri sono tali da poter trasformare le modalità di esecuzione della refrazione stessa: refrazione delegata, refrazione in remoto, auto-refrazione, ecc. Siamo decisamente solo agli inizi di una rivoluzione della refrazione e della sua esecuzione!

La tecnologia dei nuovi forotteri consentirà di automatizzare e standardizzare le tecniche di refrazione e di determinare la correzione dei clienti con più accuratezza. Questa tecnologia è ormai a disposizione degli ottici per semplificare le operazioni quotidiane e viene posta sotto la loro sorveglianza e autorità. È quindi essenziale che comprendano la logica degli algoritmi che portano alla refrazione, per seguirne la corretta esecuzione e ottenere risultati precisi. Speriamo che la presente pubblicazione abbia consentito una chiara comprensione dell'algoritmo, abbastanza complesso, di determinazione vettoriale del cilindro correttore. Ma speriamo soprattutto che promuova l'adozione e l'impiego delle procedure automatizzate di determinazione del cilindro da parte dei professionisti della visione e che consenta di offrire ai clienti una correzione ottica dell'astigmatismo (ancora) più precisa!



INFORMAZIONI CHIAVE:

- Nel metodo della "refrazione tradizionale", la determinazione del cilindro segue un percorso indiretto, con modifiche dei riferimenti permanenti, che ne limita la precisione.
- Nel metodo della "refrazione digitale", la determinazione del cilindro segue un percorso diretto, con un riferimento coerente e una doppia iterazione, che garantisce una notevole precisione.
- Il nuovo metodo della "Digital Infinite Refraction™" consente di determinare la refrazione con maggiore accuratezza. La sua implementazione mediante algoritmi automatizzati ed evolutivi apre numerose prospettive per facilitare la procedura di refrazione.

BIBLIOGRAFIA:

- (1) Longo A., Meslin D., Une nouvelle approche de la réfraction subjective, Cahiers d'Ophthalmologie, numéro 230, pp 59-63, (Sept 2019); A New approach to subjective refraction, in Points de Vue, Essilor International, www.pointsdevue.com (May 2020).
- (2) Thibos L. N., Wheeler W., Horner D., Power vectors: an application of Fourier analysis to the description and statistical analysis of refractive error. Optom Vis Sci. Jun;74(6):367-75 (1997).
- (3) Thibos, L. N., & Horner, D., Power vector analysis of the optical outcome of refractive surgery. Journal of Cataract & Refractive Surgery, 27(1), 80-85 (2001).
- (4) Touzeau O., Costantini E., Gaujoux T., Borderie V., Laroche L., Réfraction moyenne et variation de réfraction calculées dans un espace dioptrique, Journal français d'ophtalmologie, 33, 659-669 (2010).
- (5) Touzeau O., Scheer S., Allouch, Borderie V., Laroche L., Astigmatisme : analyse mathématiques et représentations graphiques, EMC – Ophthalmologie 1, pp 117-174, Elsevier (2004).
- (6) Meslin D, Cahier d'Optique Oculaire « Réfraction Pratique » (also « Practical Refraction »), pp 24-30, Essilor Academy Europe, www.essiloracademy.eu (2008).
- (7) Marin G., Meslin D., Réfraction : les patients sont plus sensibles que le quart de dioptrie !, Cahiers d'Ophthalmologie, numéro 235, pp 59-63 (Mars 2020); Refraction: patients are sensitive to increments smaller than a quarter diopter! in Points de Vue, Essilor International, www.pointsdevue.com (June 2020).