

Università degli Studi di Napoli “Federico II”

Scuola Politecnica e delle Scienze di Base
Area Didattica di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali

Dipartimento di Fisica “Ettore Pancini”



Laurea triennale in Ottica e Optometria

**VALUTAZIONE DELL’ASTIGMATISMO CON
IL METODO VETTORIALE TRAMITE
L’UTILIZZO DEL FOROTTERO DIGITALE.**

Relatori:
Prof. Michele Gagliardi

Candidato:
Alessia Turco
Matricola M44000661

A.A. 2020/2021

INDICE

INTRODUZIONE	3
CAPITOLO 1	4
1. L'ASTIGMATISMO [1].....	4
1.1 CLASSIFICAZIONE E QUANTIFICAZIONE DELL'ASTIGMATISMO [3].	4
1.2 METODI TRADIZIONALI DI RILEVAZIONE DELL'ASTIGMATISMO.....	7
1.3 LIMITI DEL METODO TRADIZIONALE.....	11
CAPITOLO 2	13
2.0 METODO VETTORIALE. [7].....	13
2.1. "ESPRESSIONE POLARE" VS "ESPRESSIONE CARTESIANA.....	14
2.2. RAPPRESENTAZIONE DI UNA REFRAZIONE IN UNO "SPAZIO DIOTTRICO".....	15
CAPITOLO 3	17
3.0 NUOVO METODO DI REFRAZIONE DIGITALE: UN APPROCCIO PIU' DIRETTO E PRECISO. .17	
3.1 LA DETERMINAZIONE SIMULTANEA DELL'ASSE DEL CILINDRO E DEL POTERE DEL CILINDRO.....	18
3.2 REFRAZIONE TRADIZIONALE vs. REFRAZIONE DIGITALE: DIFFERENZE.....	18
3.3. CONFRONTO TRA I DUE METODI PER LA DETERMINAZIONE DEL CILINDRO.	20
CAPITOLO 4	25
RACCOLTA DATI.....	25
CONCLUSIONI	32
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	33

INTRODUZIONE

Il lavoro di tesi svolto mira a descrivere il nuovo metodo per la determinazione del cilindro, le differenze e gli aspetti positivi, in comparazione con la tecnica refrattiva “tradizionale” tramite l’utilizzo dei cilindri crociati.

La tecnica di refrazione soggettiva non ha avuto sviluppi per più di un secolo, la ragione principale di ciò è il limite imposto dei forotteri tradizionali che fanno alternare le lenti ad incrementi di 0,25 diottrie.

Oggi, con l’introduzione dei forotteri digitali è stato possibile ideare nuove tecniche di esame, nello specifico sarà trattata una nuova tecnica vettoriale per la valutazione della porzione cilindrica, più coerente e precisa. Attraverso il nuovo metodo, basato su algoritmi automatizzati, la ricerca del cilindro diventa indipendente dalla tecnica dell’ottico e dalle sue decisioni, si cerca di rendere una valutazione “soggettiva” il più “oggettiva” possibile.

Il lavoro ha inizio con l’illustrazione dell’astigmatismo e la sua classificazione nonché i metodi tradizionali di rilevazione: cilindri crociati, quadrante per astigmatici e le loro modalità d’uso. Infine questo capitolo si conclude esponendo i limiti di tale metodo tradizionale. Successivamente si illustra il metodo vettoriale e la possibilità di esprimere le tre componenti di refrazione (sfera, cilindro ed asse) in coordinate cartesiane indipendenti l’una dalle altra e la loro rappresentazione in un sistema di riferimento tridimensionale ortogonale standardizzato chiamato “Spazio Diottrico”.

Si è poi passati al nuovo metodo di refrazione digitale tramite l’utilizzo dei forotteri a variazione continue di potere, gli aspetti favorevoli, le differenze ed il confronto tra le due tecniche di valutazione della porzione cilindrica.

Dopo aver raccolto una serie di dati, attraverso misurazioni con entrambe i metodi è stata effettuata una comparazione al fine di determinarne le differenze e evidenziare le peculiarità che influenzano le scelte operative.

CAPITOLO 1

1. L'ASTIGMATISMO [1]

La parola “astigmatismo”, dal greco “στειγμα (*stigma*)”, ovvero “punto”, ed “ α (*a*)” intesa come elemento privativo, dunque “*visione senza punto*”, sta ad indicare tutte quelle condizioni refrattive nelle quali ad un punto oggetto non corrisponde un punto immagine.

È un'ametropia che si manifesta in un sistema ottico che presenta differente potere nelle diverse sezioni considerate (dette meridiani) dovuta ad una variazione di curvatura della superficie corneale.

L'astigmatismo si esprime in diottrie come differenza dei due meridiani principali, i quali possiedono il massimo ed il minimo potere.

Una superficie astigmatica produce una coppia di immagini focali, a forma di linea, in direzione ortogonale rispetto al meridiano che le genera. Il complesso dei due fuochi e dello spazio intermedio è conosciuto come *conoide* o *intervallo di Sturm* (figura 1).

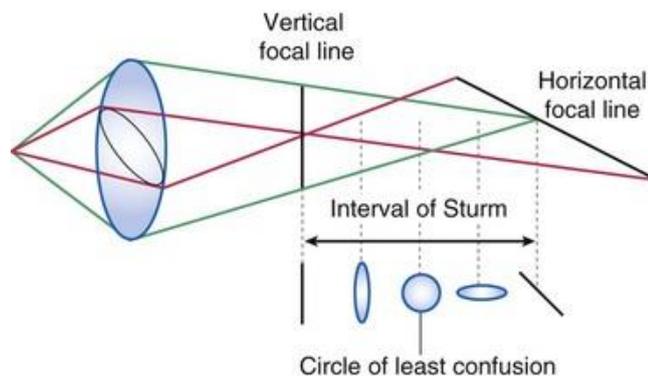


Figura1 .Lo spazio che separa le due focali è la conoide di Sturm; la distanza che intercorre tra le due focali identifica l'entità diottrica dell'astigmatismo.

1.1 CLASSIFICAZIONE E QUANTIFICAZIONE DELL'ASTIGMATISMO [3].

L'astigmatismo si suddivide in due grandi categorie:

- **Fisiologico** → quando l'entità oscilla tra 0,50 D e 0,75 D, è sempre col meridiano più curvo tra 80° e 100°. Non richiede correzione perché è compensato da un astigmatismo opposto interno.
- **Non fisiologico** → categoria a cui appartengono tutti gli altri tipi di astigmatismi.

Vi sono differenti tipi di classificazione dell'astigmatismo non fisiologico in base a diversi criteri:

- **A seconda della tipologia:**

- *Astigmatismo regolare* → i meridiani principali sono ortogonali tra di loro.
- *Astigmatismo irregolare* → i meridiani principali non sono ortogonali tra di loro.

- **A seconda della sede anatomica:**

- *Astigmatismo corneale* → dovuto alla curvatura della cornea. È il più frequente in quanto, essendo, la cornea, il diottro più potente, è sufficiente una piccola alterazione del rapporto di curvatura tra i due meridiani per causare un effetto astigmatico.
- *Astigmatismo interno* → dovuto ad alterazioni dei mezzi diottrici interni, solitamente del cristallino.

- **A seconda dell'orientamento del meridiano corneale (figura 2).**

- *Secondo regola* → condizione in cui il meridiano verticale è più potente di quello orizzontale; per meridiano verticale si considerano quelli compresi tra 70° e 110°. [4]
- *Contro regola* → condizione in cui il meridiano orizzontale è più potente di quello verticale; per meridiano orizzontale si considerano quelli compresi tra 0°-20° e tra 160°-180°. [4]
- *Obliquo* → condizione in cui i meridiani principali sono obliqui e sono compresi tra 110°-160° e 20°-70°. [4]

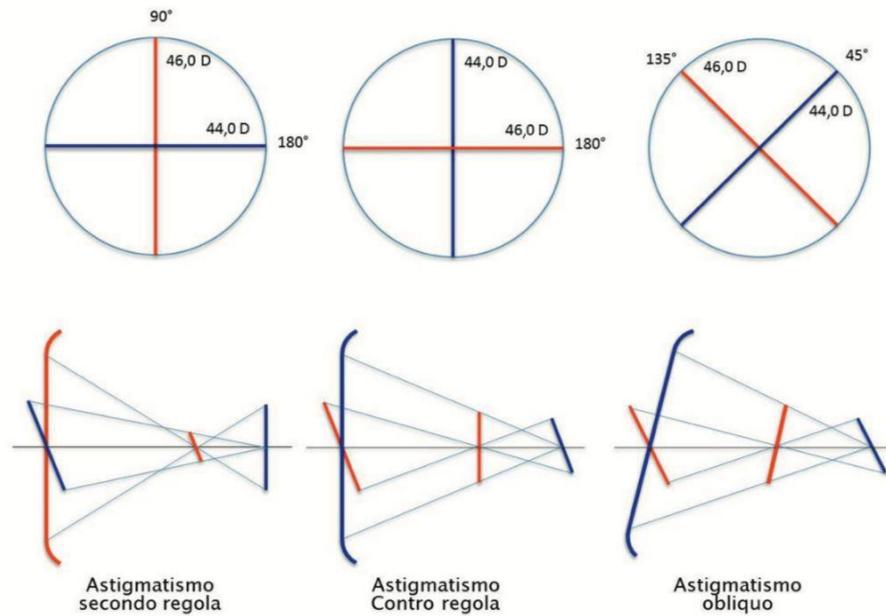


Figura 2. Rappresentazione astigmatismo secondo regola, contro regola, obliquo. [3]

- **A seconda della posizione dei due fuochi rispetto alla retina (figura 3)**

- *Miopico* → semplice: una linea focale è miope, si trova cioè davanti alla retina.

→ composto: entrambe le linee focali sono miopi, si trovano davanti alla retina.

- *Ipermetrope* → semplice: una linea focale è ipermetrope, cade dietro alla retina.

→ composto: entrambe le linee focali sono ipermetropi.

- *Misto* → una linea focale è miope, l'altra è ipermetrope.

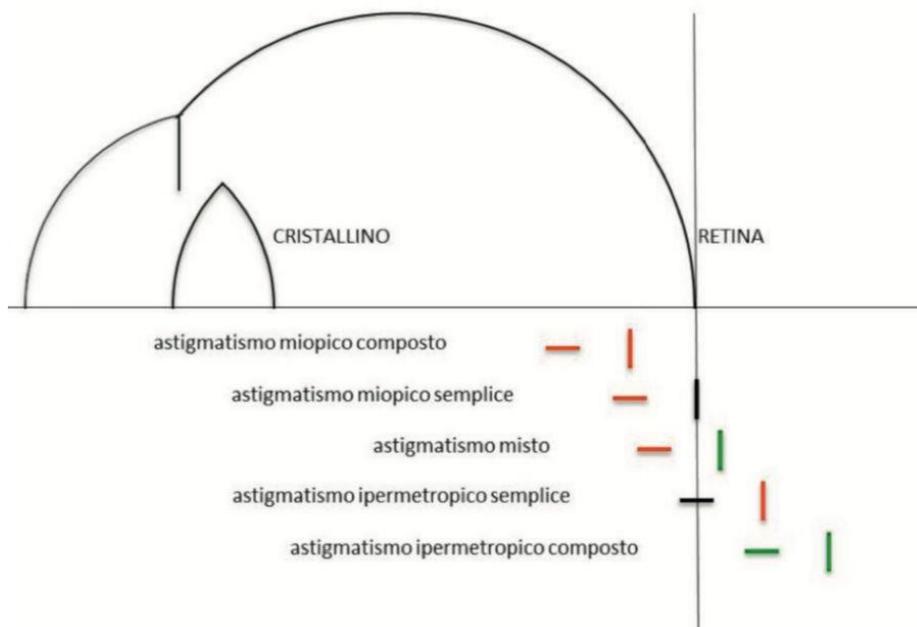


Figura 3. Rappresentazione astigmatismo miopico, ipermetrope e misto. [3]

1.2 METODI TRADIZIONALI DI RILEVAZIONE DELL'ASTIGMATISMO.

- QUADRANTE PER ASTIGMATICI. (figura 4)

Il **quadrante per astigmatici** si presenta come una raggiera di linee nere su sfondo bianco disposte ad un preciso intervallo tra loro posizionate attorno i 360°. All'estremità di ogni linea sono indicati dei numeri in senso orario da 1 a 12.

È un test utilizzato nella valutazione di ametropie con componente astigmatica.

Va presentato all'esaminato in condizione di annebbiamento (+0,50D), per accentuare la presenza astigmatica e fornire, così, maggiori opportunità visive di differenza tra le righe. Il piccolo annebbiamento mette in condizione l'occhio di evitare l'azione di un refuso accomodativo eventualmente presente.

Si chiede se le linee appaiono tutte allo stesso modo, se ciò accade è sintomo dell'assenza di astigmatismo, contrariamente ne indica la presenza.

In quest'ultimo caso l'ametrope indicherà quale linea (o gruppo di esse) vede più nitido (facendo riferimento ai numeri dell'orologio), questo indicherà quale focalina si trova più vicina alla retina.

Si procede quindi all'anteposizione con un cilindro negativo con asse opposto rispetto alla linea che il soggetto vede più marcato.[5]

E' preferibile utilizzare questo test per astigmatismi non elevati e comunque entro un valore di 2,00.



Figura 4. Quadrante per astigmatici

- **CILINDRI CROCIATI DI JACKSON.**

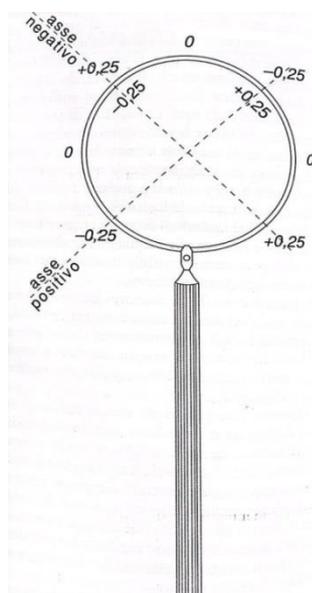


Figura 5. Cilindro crociato “0,25D” [6] Figura 6. Cilindri crociati 0,50 D e 0,25

Un cilindro crociato (figura 5) è formato da due lenti cilindriche con gli assi perpendicolari tra loro e potere uguale ma di segno opposto. Oppure possono essere dati dalla combinazione di un cilindro e di una lente sferica di segno contrario e di potere pari alla metà della forza del cilindro.

Cilindro crociato “0,25”: +0,25 cil, -0,25 cil

$$\begin{cases} +0,25 \text{ sf} - 0,50 \text{ cil} \\ -0,25 \text{ sf} + 0,50 \text{ cil} \end{cases}$$

Cilindro crociato “0,50”: +0,50 cil, -0,50 cil

$$\begin{cases} +0,50 \text{ sf} - 1,00 \text{ cil} \\ -0,50 \text{ sf} + 1,00 \text{ cil} \end{cases}$$

I poteri più comuni sono il +/- 0,25 e il +/- 0,50 diottrie.

La lente è contenuta in un anello metallico che ha il manico posto a 45° sia dall’asse positivo che dall’asse negativo del cilindro, in questo modo, ruotando il manico gli assi e i poteri si invertono. Sulla lente sono incise delle tacche di diverso colore che segnano la posizione dell’asse positivo e negativo e dei numeri che indicano il potere dei meridiani principali. [6]

Viene utilizzato antepoendolo alla correzione di prova e ruotando il suo manico (figura 7), senza fargli cambiare posizione, in modo da presentare al soggetto l’una o l’altra faccia della lente; così facendo si ottiene un’inversione di posizione degli assi positivi e negativi. [6]

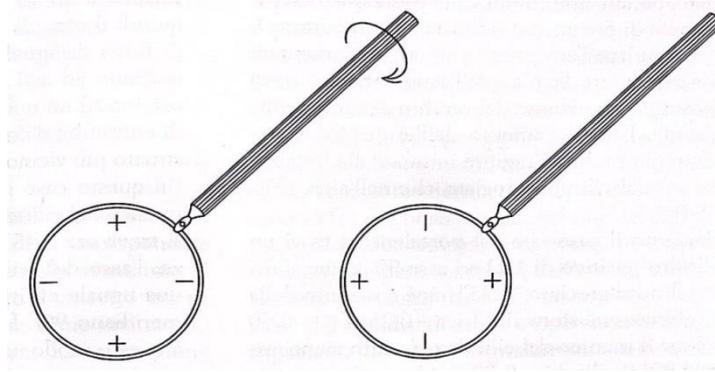


Figura 7. Movimento di rotazione del cilindro crociato.[6]

EFFETTI DELL'ANTEPOSIZIONE DEL CILINDRO CROCIATO.

- OCCHIO EMMETROPE

Quando si antepone un cilindro crociato ad un occhio emmetrope si determina un intervallo di Sturm le cui linee focali alternano la loro rispettiva posizione con la rotazione del cilindro crociato. Si crea la condizione di un astigmatismo misto in cui il cerchio di minor confusione si colloca a livello della retina. [6]

- OCCHIO ASTIGMATICO

Quando si antepone un cilindro crociato ad un occhio astigmatico, facendo corrispondere gli assi del cilindro crociato ai meridiani principali dell'astigmatismo, si provoca una variazione del potere di questi meridiani che è della stessa entità ma di segno opposto: se il potere di uno dei meridiani principali viene aumentato di 0,5 D l'altro viene ridotto di 0,5 D (utilizzando un c.c. da +/- 0,50). Il cilindro crociato, perciò, non modifica la posizione dell'intervallo di Sturm, ma si limita ad aumentarne o a diminuirne l'ampiezza e quindi ad aumentare o a diminuire l'entità dell'astigmatismo senza spostare la posizione del cerchio di minor confusione. Lo sfuocamento dell'immagine sarà maggiore in una delle due posizioni del cilindro crociato che nell'altra. [6]

Modalità d'impiego. [6] (figura 8).

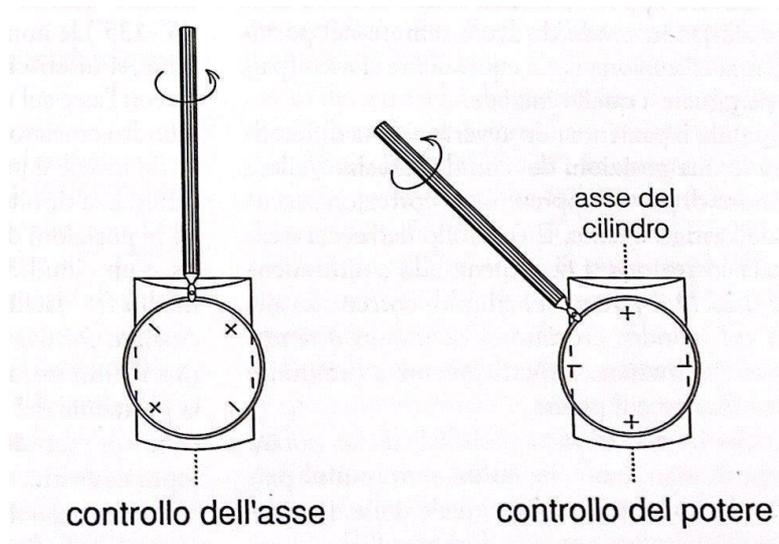


Figura 8. modalità di impiego del cilindro crociato. [6]

I cilindri crociati si usano dopo aver determinato la sfera di miglior visione, che rappresenta la correzione sferica miopica o ipermetropica, che fornisce l'acuità visiva migliore. Se l'acuità visiva è superiore a 6/10 si usa il cilindro crociato $\pm 0,25$, se è inferiore si usa quello $\pm 0,50$. [7] Si cerca prima la posizione dell'asse e poi il potere. Il soggetto fissa una mira a punti (figura 9) o una lettera tonda posta in visione da lontano e gli si pone davanti la lente.

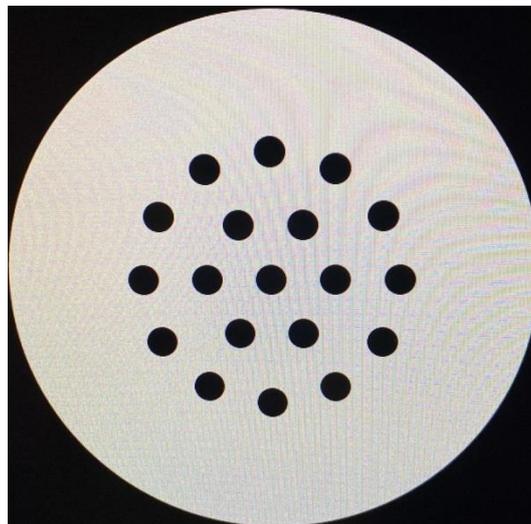


Figura 9. Mira a punti per il test dei cilindri crociati.

Controllo asse:

Per controllare l'asse (figura 8), la posizione del manico del cilindro crociato deve corrispondere all'asse del cilindro correttore di cui si vuole definire il corretto orientamento.

Si invita il soggetto ad osservare una mira generica a piccole sfere nere su sfondo bianco. Si ruota il manico del cilindro crociato provocando così l'inversione di posizione degli assi e si chiede al soggetto quale posizione preferisce.

Se il soggetto riferisce di vedere meglio in una delle due posizioni, l'asse del cilindro correttore va ruotato di 5° - 10° nella direzione dell'asse omonimo del cilindro crociato. Questa manovra va ripetuta più volte e rapidamente fin quando non ci sarà più alcuna differenza tra le due posizioni. Ciò significa che l'asse del cilindro di prova dovrebbe trovarsi nella posizione corretta.

Controllo potere:

Per controllare il potere si posiziona il manico a 45° rispetto all'asse del cilindro correttore (figura 8), si ruota lo strumento e si chiede al soggetto se la mira è vista meglio nella posizione uno o due. In base alla risposta, si aumenta o si riduce il potere astigmatico del cilindro correttore finché la mira è vista uguale in entrambe le posizioni. Ogni qualvolta vi è una variazione di potere bisogna andare a ricontrollare anche la posizione dell'asse.

In definitiva, una volta raggiunta la condizione in cui le due posizioni del cilindro crociato provocano uguale sfocatura dell'immagine, bisogna ricontrollare la porzione sferica precedentemente corretta. Quando si usano cilindri negativi superiori ad 1 D la correzione sferica deve essere aumentata se positiva, diminuita se negativa, di una quantità pari a circa la metà della forza del cilindro in modo che la combinazione sferocilindrica che si trova nel portanti corrisponda sempre al medesimo equivalente sferico¹ [6].

Nonostante siano stati superati da strumenti più moderni, i cilindri crociati sono sempre validi consentono di fare un lavoro preciso e rapido ed inoltre l'esaminato ci fornisce direttamente le risposte e le sensazioni sul suo stato visivo.

1.3 LIMITI DEL METODO TRADIZIONALE.

La tecnica del cilindro crociato per la determinazione dell'astigmatismo fu proposta dall'oftalmologo americano Edward Jackson nel 1907.

¹ Equivalente sferico: si ottiene sommando algebricamente alla lente sferica metà del valore della lente cilindrica che riduce, il più possibile, l'intervallo di Sturm. Questo perché ci si può trovare a volte nella necessità di dover correggere parzialmente un astigmatismo cercando di ottenere il miglior visus con la correzione cilindrica meglio tollerata. Tale situazione presuppone che non sarà possibile annullare del tutto il conoide di Sturm, quanto cercare di ridurne la sua ampiezza utilizzando una correzione sferica che porti sulla retina il cerchio di minor confusione.

Per quasi un secolo la tecnica di refrazione utilizzata per determinare la porzione cilindrica di correzione è cambiata molto poco, a causa anche del fatto che i forotteri stessi sono cambiati molto poco.

La refrazione tradizionale è composta da quattro fasi successive:

1. Determinazione del potere della sfera;
2. Determinazione dell'asse del cilindro;
3. Determinazione del potere del cilindro;
4. Bilanciamento della sfera.

Ogni refrazione tradizionalmente è espressa con riferimento alle sue tre componenti, denominate "coordinate polari": potere della sfera, potere del cilindro e asse del cilindro. Le prime due sono espresse in diottrie, la terza in gradi.

Nonostante i forotteri utilizzati nella tecnica tradizionale siano utili per determinare queste tre componenti refrattive, impongono una limitazione: queste devono essere determinate *separatamente* senza la possibilità di eseguire un'azione simultanea che coinvolga tutte nello stesso momento nonostante siano collegate tra loro. A tal proposito non è mai possibile determinare l'asse del cilindro indipendentemente dal suo potere. Il cilindro infatti può essere considerato una lente che produce "un dato potere, con un dato asse" e, di conseguenza, modificando l'asse del cilindro, si modificherà il suo effetto ottico correttivo ed anche la percezione da parte del soggetto.

Nella rifrazione tradizionale si trascurava l'effetto diottrico del cilindro dovuto alla rotazione dell'asse (tabella 1), quest'ultimo è variabile e si traduce nell'utilizzo di incrementi diottrici mutevoli in funzione del potere del cilindro. Una volta che il potere del cilindro supera 1.25 D, una rotazione di 5° produce un effetto diottrico superiore a 0,25 D.

Potere del cilindro testato (Diottrie)	Rotazione dell'asse del cilindro (Gradi)		
	5°	2°	1°
0,50	0,09	0,03	0,02
1,00	0,17	0,07	0,03
1,50	0,26	0,10	0,05
2,00	0,35	0,14	0,07
2,50	0,44	0,17	0,09
3,00	0,52	0,21	0,10
3,50	0,61	0,24	0,12

Tabella 1. Effetto diottrico della rotazione dell'asse del cilindro. In base al potere del cilindro e per le tre rotazioni dell'asse: 5°, 2°, 1°. Ad esempio una rotazione di 1° sull'asse di un cilindro di 1,50 D ha un effetto diottrico di 0,05 D. Se questo stesso cilindro viene ruotato di 2°, l'effetto è di 0,10 e se viene ruotato di 5°, l'effetto è di 0,26. [11]

Idealmente per ottenere la piena uniformità nelle percezioni del soggetto, l'incremento di rotazione dell'asse dovrebbe essere regolato in base al valore del potere del cilindro in modo che corrisponda ad effetti diottrici costanti. Il metodo di refrazione tradizionale, in cui l'incremento di rotazione dell'asse è nella maggior parte dei casi costante in gradi, non consente all'ottico di mantenere costante l'incremento di variazione diottrica durante la ricerca dell'asse del cilindro. Si vedrà che il metodo di refrazione digitale lo permette e garantisce una completa coerenza nella percezione dell'esaminato.

CAPITOLO 2

2.0 METODO VETTORIALE. [7]

Per poter introdurre il nuovo metodo di valutazione del cilindro, ovvero il metodo digitale, bisogna fare un passo indietro ed illustrare il metodo vettoriale.

Nel 1965 Gartner fu il primo ad introdurre il concetto di “vettori optometrici”, ideati come metodo per trasformare le coordinate polari in componenti indipendenti.

I valori di sfera (S), cilindro (C) e asse (a) che caratterizzano la notazione di una refrazione non possono essere comparati tra loro perché non sono termini indipendenti, perciò la refrazione viene trasformata dalla convenzionale forma [S, C x a] in un singolo punto di coordinate cartesiane (M, J0°, J45°) posto all'interno di uno spazio tridimensionale (spazio diottrico), dove le tre componenti sono indipendenti.

Nello specifico il termine M è l'equivalente sferico, mentre J0° e J45° sono le componenti astigmatiche con potere ed asse rispettivamente 180° e 45°.

Queste tre componenti, o “coordinate cartesiane”, sono tutte espresse in diottrie. La conoscenza delle componenti J0° e J45° permette di determinare il potere e l'asse del cilindro. Qualsiasi valore di refrazione può quindi essere rappresentata tracciandone le tre coordinate in un sistema di riferimento tridimensionale ortogonale standardizzato chiamato “Spazio Diottrico”(figura 10).

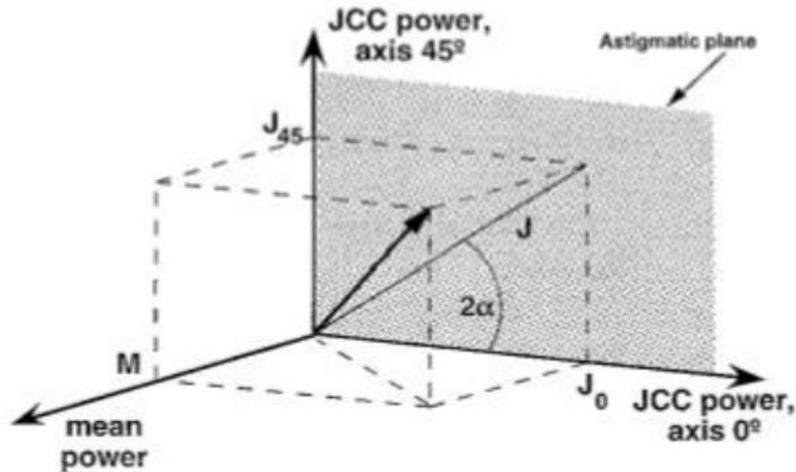


Figura 10 Spazio diottrico tridimensionale usato per la rappresentazione vettoriale di un errore refrattivo. [8]

I tre parametri nelle coordinate cartesiane sono ricavate dalle seguenti equazioni [7]:

$$M = S + \frac{C}{2}$$

$$J_{0^\circ} = -\frac{C}{2} \cos(2\alpha)$$

$$J_{45^\circ} = -\frac{C}{2} \sin(2\alpha)$$

Dove S è il potere sferico, C è il potere cilindrico negativo e α è l'asse del cilindro espresso in radianti.

Ponendo $x = M$, $y = J_{0^\circ}$ e $z = J_{45^\circ}$, si disegna un vettore che parte dall'origine di un sistema cartesiano e termina nel punto di coordinate (x, y, z) come mostrato in figura 9. [7]

La lunghezza del vettore è un utile parametro che rappresenta l'entità dello sfocamento totale indotto dalla lente sferocilindrica o dall'errore refrattivo.

Valori positivi di J_{0° indicano un astigmatismo secondo regola e valori negativi di J_{0° indicano un astigmatismo contro regola, mentre J_{45° rappresenta l'astigmatismo obliquo. [7]

Un vantaggio dell'analisi vettoriale è la capacità di rappresentare una complessa entità come l'errore refrattivo mediante un semplice punto posto all'interno di uno spazio tridimensionale.

2.1. “ESPRESSIONE POLARE” VS “ESPRESSIONE CARTESIANA”[9]

La relazione tra le due espressioni polari e cartesiane di una stessa formula di rifrazione è un semplice calcolo trigonometrico ed è facile spostarsi da un'espressione all'altra.

Se si conosce la formula polare classica della rifrazione, quindi sfera-cilindro-asse, si possono calcolare le tre coordinate della sua espressione cartesiana mediante le seguenti 3 formule[9]:

$$M = sf + \frac{Cil}{2}$$

$$J0^\circ = Cil * Cos(2 * asse)^2$$

$$J45^\circ = Cil * Cos(2 * asse)$$

[9]Viceversa, se si conoscono le due componenti cartesiane del cilindro, $J0^\circ$ e $J45^\circ$, è facile trovare le sue componenti polari, cilindro e asse, mediante composizione vettoriale; per la sfera è invece sufficiente sottrarre algebricamente metà del valore del cilindro da quello della sfera equivalente, per trovarne il valore. Le formule sono:

$$Sf = M - \frac{Cil}{2}$$

$$Cil = -\sqrt{J0^{\circ 2} + J45^{\circ 2}}$$

$$Asse^3 = 0,5 * ArcTan\left(\frac{J45^\circ}{J0^\circ}\right) + C^2$$

ESPRESSIONE POLARE			ESPRESSIONE CARTESIANA		
Sfera	Cilindro	Asse	M	$J0^\circ$	$J45^\circ$
+2,00			+2,00	0,00	0,00
-2,00			-2,00	0,00	0,00
Piano	-2,00	0	-1,00	-2,00	0,00
Piano	-2,00	90	-1,00	+2,00	0,00
Piano	-2,00	45	-1,00	0,00	-2,00
Piano	-2,00	135	-1,00	0,00	+2,00
+1,00	-2,00	120	0,00	+1,00	+1,73
+1,00	-2,00	30	0,00	-1,00	-1,73

Tabella 2. Espressione polare e cartesiana delle varie formule di refrazione. [9]

2.2. RAPPRESENTAZIONE DI UNA REFRAZIONE IN UNO “SPAZIO DIOTTRICO”.

Qualsiasi formula refrattiva può essere rappresentata in un sistema di riferimento tridimensionale che è lo “spazio diottrico”.

La refrazione è rappresentata da un unico vettore, le cui proiezioni sui 3 assi di riferimento sono le coordinate cartesiane della formula di refrazione[9].

Vengono raffigurati secondo 3 assi:

² A causa del ciclo non trigonometrico dell'asse, vale a dire la sua variazione da 0° a 180° e non da 0° a 360° , è necessario raddoppiare il valore dell'asse del cilindro.

³ Con C costante pari a 90 se $J0^\circ > 0$ e pari a 0 se $J0^\circ < 0$

- Il potere sferico equivalente, o sfera media M;
- La componente orizzontale del cilindro J_0° ;
- La componente obliqua del cilindro J_{45}° .

La sfera è espressa lungo l'asse verticale e il cilindro lungo un piano orizzontale: l'asse del cilindro è rappresentato dalla rotazione attorno all'asse verticale ed il potere del cilindro dalla distanza dall'origine (figura 11).

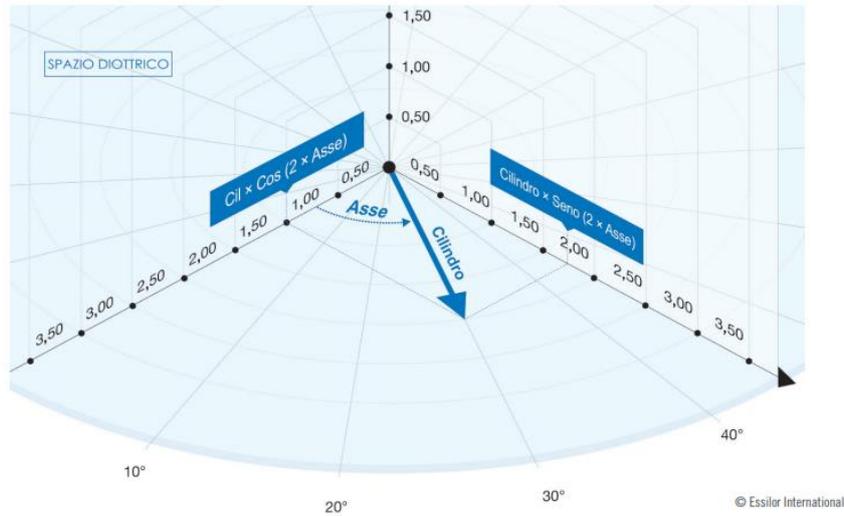


Figura 11. Rappresentazione vettoriale della rifrazione in uno spazio diottrico.

In figura abbiamo l'esempio di una formula di rifrazione in coordinate cartesiane +1,00 (-2,00) 30°

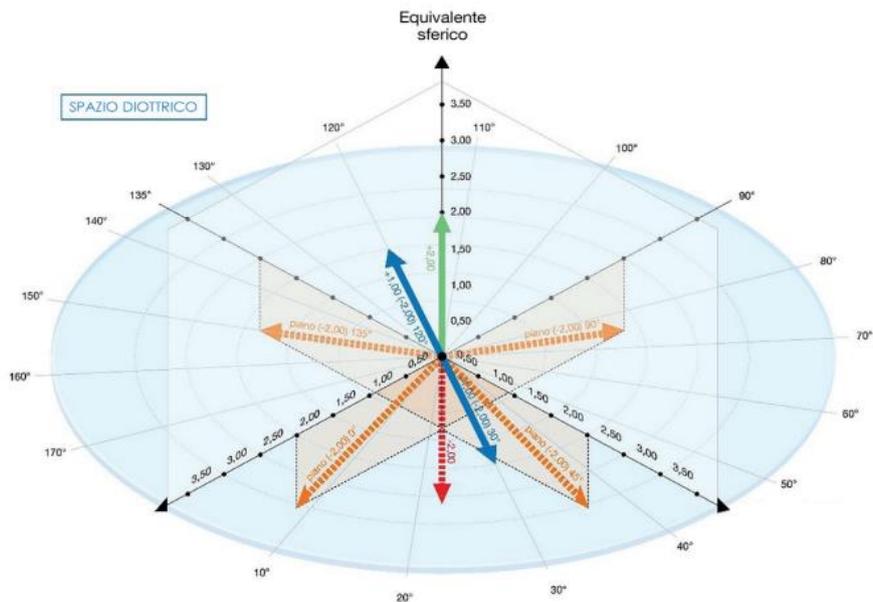


Figura 12. Esempi di rappresentazioni vettoriali delle varie formule di rifrazione.

Formule sferiche: +2,00 (in verde) e -2,00 (in rosso);

Formule astigmatiche: piano (-2,00) con assi di cilindro a 0°, 45°, 90°, 135° (in arancione) e +1,00 (-2,00) con assi cilindro a 30° e 120° (in blu).

Nell'esempio in figura 11, con una formula di refrazione di $+1,00 (-2,00) 30^\circ$ e potere sferico equivalente zero, il vettore corrispondente è situato nel piano orizzontale $J0^\circ/J45^\circ$. Per qualsiasi altra refrazione il cui potere sferico equivalente non sia pari a zero, la logica è la stessa ma il vettore evolverebbe nello spazio lasciando una traccia identica a quella descritta nel piano $J0^\circ/J45^\circ$ ma in un piano orizzontale parallelo ad esso, corrispondente al valore del potere sferico equivalente. [9]

Per la valutazione della porzione cilindrica si considerano due componenti: una "componente di potere" lungo l'asse iniziale della correzione e una "componente di asse" perpendicolare ad essa nello spazio diottrico. Poiché queste componenti di potere e asse sono ortogonali e indipendenti l'una dall'altra, la determinazione del cilindro può essere effettuata indifferentemente a partire dalla componente di asse o dalla componente di potere.[9]

CAPITOLO 3

3.0 NUOVO METODO DI REFRAZIONE DIGITALE: UN APPROCCIO PIU' DIRETTO E PRECISO.

Oggi, grazie all'introduzione dei forotteri "a variazione continua di potere", è possibile proporre un nuovo metodo di determinazione del cilindro basato su un approccio "vettoriale" alla refrazione [10].

La creazione di nuovi sistemi in grado di variare i poteri con incrementi molto più piccoli è basata sullo sviluppo di un "modulo ottico" composto da una lente sferica flessibile e due lenti cilindriche rotanti controllate da dei micromotori (figura 13). [10]

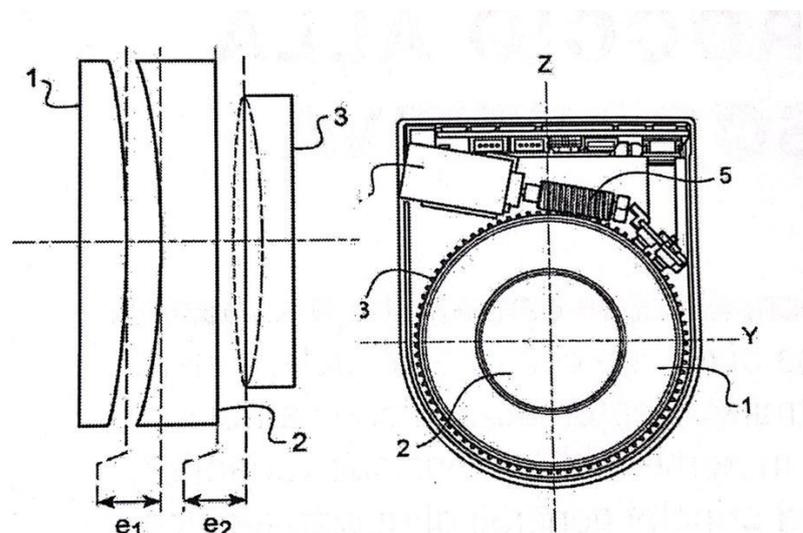


Figura 13. Modulo ottico con variazioni di potere continue

Questo modulo ottico può generare poteri di sfera da -20.00 D a +20.00 D in incrementi di 0.01 D, poteri del cilindro fino ad 8.00 D in incrementi di 0.01 e orientamenti dell'asse del cilindro da 0° a 180° in incrementi di 0.1°. [10]

Attraverso questo sistema la sfera, il cilindro e l'asse possono essere modificati contemporaneamente durante i test, questi ultimi infatti sono effettuati tramite algoritmi semiautomatizzati migliorando così la tecnica di refrazione, rendendola più precisa.

Questi algoritmi dovrebbero essere in grado di contribuire ad una certa standardizzazione dei metodi refrattivi, avendo loro la capacità di adattarsi ai soggetti a seconda delle loro risposte durante l'esame stesso.

Questo nuovo approccio digitale apre quindi un immenso campo di indagine e progresso per i metodi refrattivi.

3.1 LA DETERMINAZIONE SIMULTANEA DELL'ASSE DEL CILINDRO E DEL POTERE DEL CILINDRO.

Mentre con la tecnica di refrazione tradizionale il professionista deve determinare l'asse del cilindro ed il suo potere separatamente e successivamente regolare la sfera, con i forotteri digitali, che utilizzano il modulo ottico, un algoritmo ricerca queste tre componenti in un'unica sequenza.

Si utilizza una tecnica di refrazione "vettoriale" in cui il potere e l'asse del cilindro variano simultaneamente, mentre il valore di potere sferico equivalente è mantenuto costante ad incrementi di 0,01 D.

3.2 REFRAZIONE TRADIZIONALE vs. REFRAZIONE DIGITALE: DIFFERENZE.

Benché le due tecniche di refrazione "tradizionale" e "digitale" impieghino alcuni principi comuni, esse differiscono fondamentalmente per alcuni aspetti

Metodo tradizionale: la refrazione viene eseguita presentando al soggetto lenti sferiche e cilindriche davanti all'occhio o mediante l'uso di un occhialino di prova o con il forottero manuale.

Le lenti sono proposte con incrementi di 0,25 diottrie, inoltre la sfera, l'asse ed il cilindro possono essere esaminati solo separatamente e quindi sono test eseguiti uno dopo l'altro durante l'esame della refrazione.

Metodo digitale: sfrutta la capacità del modulo ottico a variazione continue di potere, permette di passare istantaneamente da una formula ottica all'altra modificando i poteri ottici e con incrementi di variazione di 0,01 D, è inoltre possibile agire sulla sfera, sull'asse del cilindro e sul suo potere in modo simultaneo.

In questa nuova tecnica di refrazione digitale si è scelto di iniziare la determinazione del cilindro con la componente del potere, in contrapposizione con il metodo "tradizionale" il quale inizia sempre con la determinazione dell'asse⁴. Inoltre vi è la possibilità di scegliere il potere del cilindro crociato utilizzato, non limitato ai valori di 0,25 D o 0,50 D. In questo modo il soggetto, durante la rilevazione del cilindro, riesce ad avere una migliore percezione delle differenze rispetto al metodo tradizionale e può indicare più facilmente quale delle due posizioni preferisce

I due metodi per quanto riguarda la determinazione del cilindro utilizzano i principi del metodo dei "cilindri crociati" di Jackson, ma sono realizzati in modo diverso. Si ricorda che il principio del metodo di ricerca del cilindro corretto è quello di presentare il cilindro crociato davanti all'occhio del soggetto, munito della sua correzione, e di studiare le variazioni di nitidezza visiva derivanti dalla combinazione dell'astigmatismo residuo del sistema occhio + lente e quello del cilindro crociato, per diverse posizioni di quest'ultimo[9].

Se alla base i due metodi presentano questa similarità, la messa in pratica dell'utilizzo dei cilindri crociati è molto diversa.

Con la refrazione tradizionale sono effettivamente presenti dei cilindri crociati nel forottero che vengono variati di posizione durante l'esame.

Con la refrazione digitale nel forottero non sono fisicamente presenti cilindri crociati, ma vengono prodotti degli effetti ottici del cilindro crociato "virtuale" nel modulo ottico mediante calcoli.

Non vi è nessun posizionamento di cilindro crociato dinanzi l'occhio del soggetto, ma vi sono delle modifiche nelle correzioni ottiche percepite istantaneamente e continuamente dal soggetto.

⁴ Si valuta sempre prima l'asse nella tecnica tradizionale poiché regolare il potere di un cilindro con un asse impreciso si traduce in un valore diverso da quello che si otterrebbe con l'asse corretto. [9]

3.3. CONFRONTO TRA I DUE METODI PER LA DETERMINAZIONE DEL CILINDRO.

Confrontiamo adesso i metodi impiegati nella “refrazione tradizionale” e nella “refrazione digitale” per determinare il cilindro e i loro percorsi nello spazio diottrico.

- METODO TRADIZIONALE

Come illustrato in precedenza, il metodo tradizionale di determinazione del cilindro consiste innanzitutto nella ricerca dell'asse, poi del potere e, infine, nella regolazione del potere della sfera. Per determinare l'asse la sua direzione viene progressivamente ricercata mediante incrementi di 5° tra ogni direzione dell'asse testata. Per determinare il potere del cilindro, il suo valore viene ricercato aumentandolo o riducendolo mediante incrementi di 0,25 D.

Graficamente (osservare figura 14) tutto ciò, 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 $J0^\circ / J45^\circ$ 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° [12].
- 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 $J0^\circ / J45^\circ$ mano a mano che il potere del cilindro aumenta [12].
- 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 tramite una "risalita" del punto (8) nel piano $J0^\circ / J45^\circ$ (compensazione di +0,25 D della sfera dopo l'aumento di (-0,50) D del cilindro) [12].

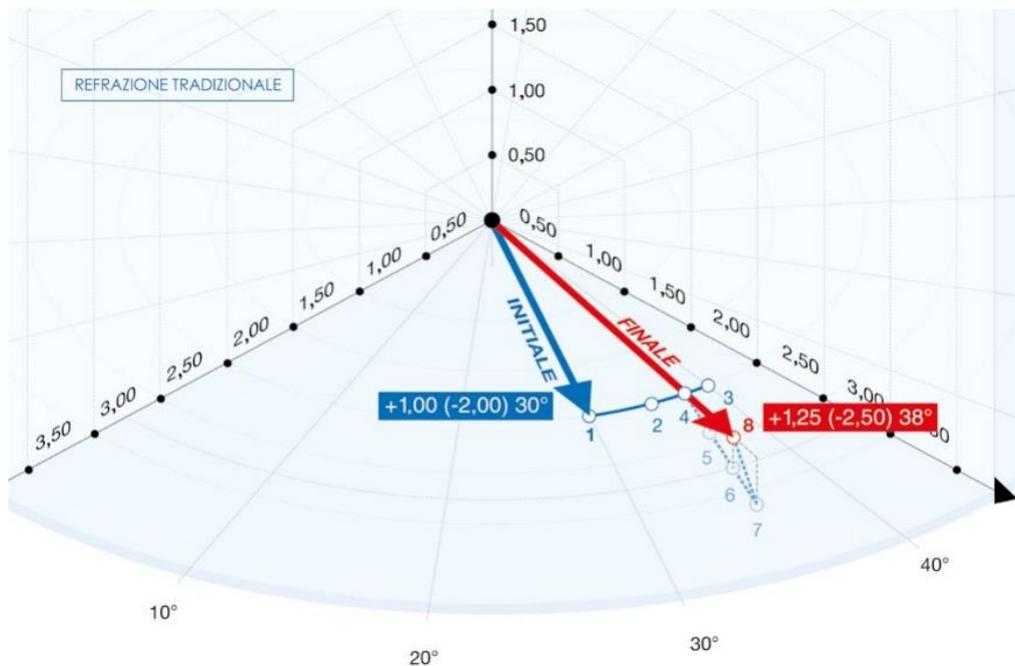


Figura 14: metodo di ricerca del cilindro mediante la refrazione tradizionale, rappresentazione nello spazio diottrico.

A questo punto si può osservare che il percorso seguito dalla tecnica tradizionale risulta piuttosto indiretto, ciò appare chiaro dalla figura 14 e dal modo in cui lo spazio diottrico viene esplorato: in modo “circolare” per la ricerca dell’asse ed in modo “radiale” per la ricerca del potere.

Questa modalità di esplorazione è dovuta ai limiti imposti dai forotteri tradizionali, dal fatto che le modifiche di sfera, asse e potere del cilindro sono eseguiti separatamente e sempre con incrementi di 0,25 D per il potere e di 5° per l’asse. Queste limitazioni non tengono conto della sensibilità diottrica del soggetto, il valore di cilindro crociato utilizzato (0,25) può risultare insufficiente per generare delle differenze significative per essere percepite.

Inoltre la ricerca del cilindro mediante la tecnica tradizionale avviene in un sistema di riferimento che varia continuamente ad ogni risposta del soggetto, sia perché il potere del cilindro non viene regolato in seguito ad ogni modifica dell’asse, sia perché in seguito alla modifica del potere il valore della sfera non viene regolato in modo tale da mantenere costante l’equivalente sferico.

- METODO DIGITALE.

Il metodo utilizzato nella refrazione “digitale” consiste 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. La gestione

vettoriale delle componenti del cilindro rende possibile una regolazione del potere 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 "digitale" 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 [12].
- Il secondo principio è quello di cercare sempre le **inversioni** nelle risposte del soggetto, 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 soggetto, e non, come nel metodo "tradizionale", tramite una decisione presa, relativamente all'asse e poi al potere, sull'ultima risposta valutata dall'ottico [12].

Per la determinazione del potere si comincia sull'asse iniziale con un aumento o una riduzione di quest'ultimo, di un incremento scelto, fino ad ottenere una prima inversione nella risposta. In questa fase l'asse resta fisso, solo il potere varia regolando a sua volta anche il valore della sfera. Viene in questo modo determinato un primo valore di potere a metà tra gli ultimi due poteri cilindrici testati. Per la determinazione dell'asse lo si fa in una direzione perpendicolare alla sua direzione iniziale, testando gli effetti della variazione d'asse, modificandolo ad ogni direzione preferita dal soggetto fino ad ottenere l'inversione nella risposta. Viene in questo modo determinato il primo valore dell'asse a metà tra gli ultimi due valori testati.

Graficamente (figura 15), 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° iniziale e restano situate sul piano $J0^\circ / J45^\circ$, contrariamente a quanto avviene nella refrazione tradizionale (in cui si spostano progressivamente sotto al piano $J0^\circ / J45^\circ$) [12].
- 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 tutti rigorosamente situati sul piano $J0^\circ / J45^\circ$, ossia il piano su cui viene eseguita l'intera ricerca del cilindro [12].

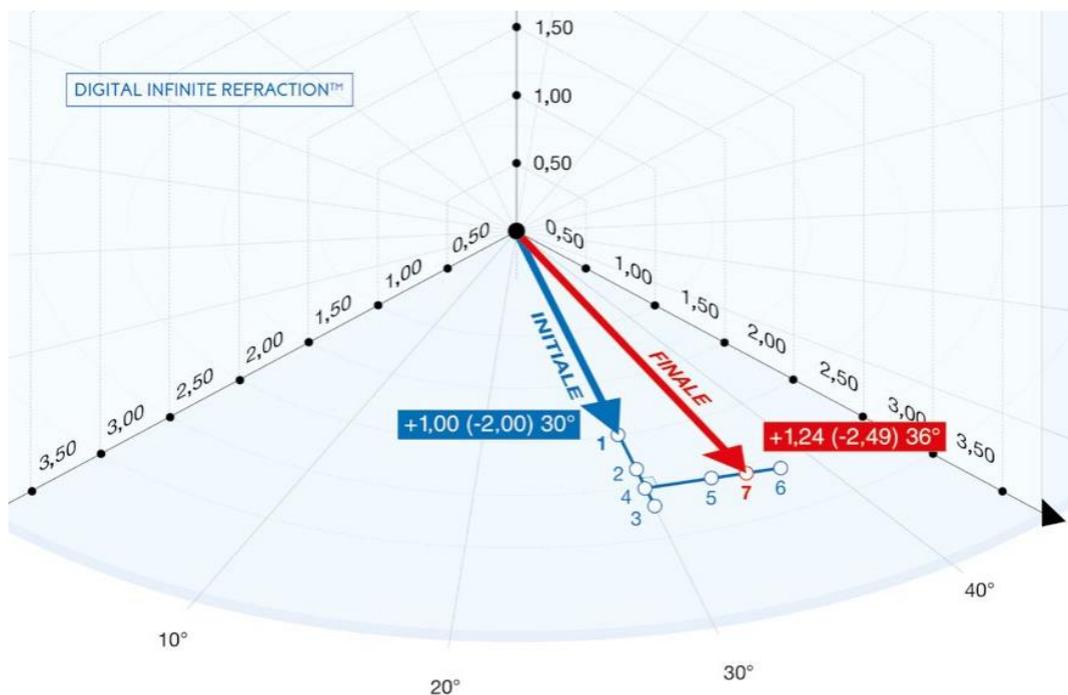


Figura 15: metodo di ricerca del cilindro attraverso la rifrazione digitale.

Si può osservare che il percorso seguito nella rifrazione digitale è molto più diretto rispetto a quella tradizionale. Il sistema di riferimento in cui viene eseguita la ricerca resta costante durante tutta la durata. La rappresentazione nello spazio diottrico ci mostra come, sia la ricerca del potere che quella dell'asse, avvengano entrambe nello stesso piano $J0^\circ/J45^\circ$. Questo 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. [12]

Inoltre, la possibilità di variazioni di potere e asse arbitrarie, consente una ricerca più rapida facilitando anche le risposte del soggetto, garantendo una maggiore sensibilità alle variazioni.

Nello specifico l'incremento di modifica dell'asse del cilindro è diottricamente costante ed identico a quello utilizzato per la ricerca del potere del cilindro, producendo così delle variazioni di percezione omogenee per il soggetto.

Vi è un ultimo punto da trattare per la ricerca del cilindro con la tecnica digitale.

Quest'ultima, a differenza della tecnica tradizionale, non si ferma alla prima determinazione del valore del cilindro, bensì viene effettuata una seconda verifica del potere e dell'asse a seguito della prima attraverso un algoritmo di ricerca.

Tutto ciò con lo scopo di rendere più precisa la refrazione, trovata durante la prima ricerca, e lo si fa andando a cercare due nuove inversioni nelle risposte del soggetto.

Durante ogni inversione nelle risposte, l'incremento diottrico di variazione del potere e dell'asse viene ridotto in modo tale da affinare la ricerca.

Sia per il potere che per l'asse le risposte fornite dal soggetto vengono accumulate e analizzate statisticamente, così da determinare valori finali che costituiscono il risultato della refrazione precisa.

Graficamente (figura 16), nello spazio diottrico, questa seconda verifica sarà:

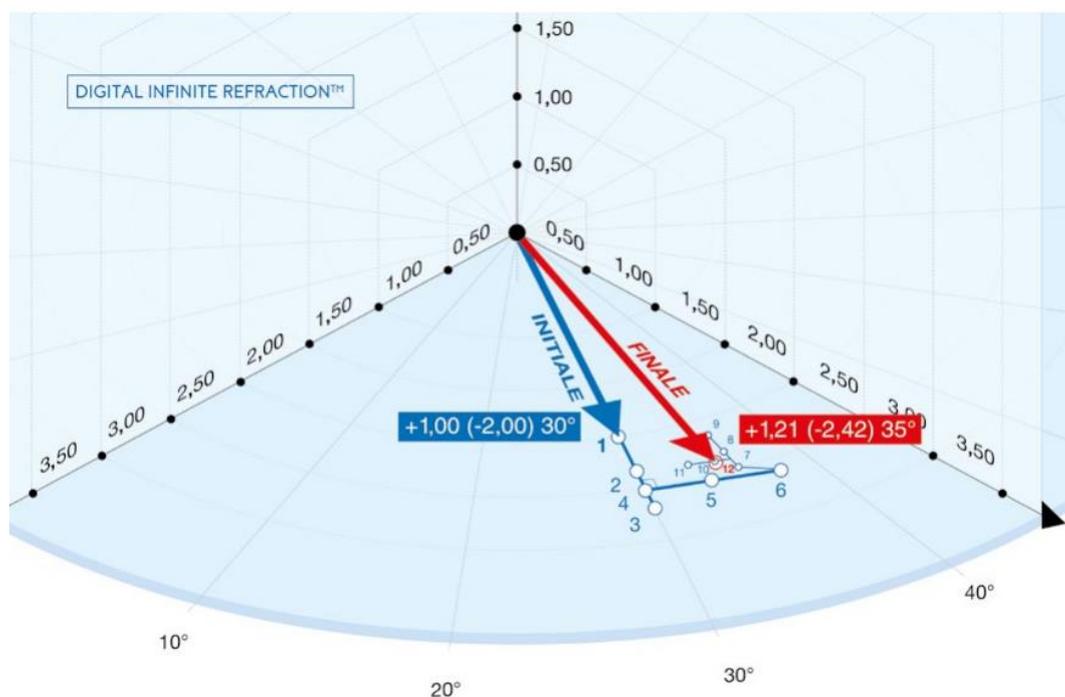


Figura 16: algoritmo di ricerca del cilindro con la refrazione tradizionale. Seconda ricerca del potere e dell'asse del cilindro.

A seguito della prima verifica (fasi da 1 a 6), l'esame continua con le fasi da 7 a 12 di affinamento della refrazione.

Nello specifico:

- 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. 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 verifica. [12]
- 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. 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. [12]

In questa seconda ricerca del cilindro i punti trovati provengono da una stima del nuovo punto da testare, condotta su tutte le risposte fornite dal soggetto sia per quanto riguarda il potere che l'asse. Si tiene conto, dunque, anche delle risposte già fornite dal soggetto durante la prima ricerca. Tutto questo per eseguire un trattamento statistico e valutare separatamente i valori più probabili del potere e dell'asse del cilindro non in base all'ultima risposta unica del soggetto, come nel caso della refrazione tradizionale.

Si può affermare che, con il metodo di refrazione digitale, che sfrutta un algoritmo automatizzato, la ricerca del cilindro diventa indipendente dalla tecnica di ricerca dell'esaminatore e dalle sue decisioni.

CAPITOLO 4

RACCOLTA DATI

Grazie all'utilizzo di un forottero digitale è stato possibile analizzare dieci soggetti astigmatici effettuando, in un primo momento, una refrazione "tradizionale" e successivamente quella "digitale". Infine sono state confrontate le due, chiedendo inoltre al soggetto se ci fosse una preferenza di confort.

Per la refrazione tradizionale sono stati eseguiti i seguenti passaggi:

- Controllo visus naturale/abituale
- Soggettiva monoculare, in modo da avere una prima indicazione sull'entità monoculare dell'ametropia e successivamente la valutazione della porzione cilindrica attraverso l'utilizzo del cilindro crociato.
- Bilanciamento della sfera attraverso il metodo del reticolo a croce.

Per la refrazione digitale sono stati eseguiti i seguenti passaggi:

- Controllo visus naturale/abituale
- Valutazione della porzione sferica
- Valutazione della porzione cilindrica

CASO 1.

		REFRAZIONE TRADIZIONALE				REFRAZIONE DIGITALE			
		OCCHIO DESTRO		OCCHIO SINISTRO		OCCHIO DESTRO		OCCHIO SINISTRO	
U.I SESSO:F ANNI: 22	Sf	0 D	Sf	-1,25 D	Sf	0 D	Sf	-1,75 D	
	Cil	-0,50 D	Cil	-0,75 D	Cil	-0,50 D	Cil	-1,00 D	
	Ax	160°	Ax	175°	Ax	153°	Ax	180°	

CASO 2

		REFRAZIONE TRADIZIONALE				REFRAZIONE DIGITALE			
		OCCHIO DESTRO		OCCHIO SINISTRO		OCCHIO DESTRO		OCCHIO SINISTRO	
F.M SESSO: F ANNI: 22	Sf	+0,50 D	Sf	+0,75 D	Sf	+0,50 D	Sf	+0,75 D	
	Cil	-0,50 D	Cil	-0,50 D	Cil	-0,50 D	Cil	-0,25 D	
	Ax	145°	Ax	20°	Ax	124°	Ax	18°	

CASO 3.

	REFRAZIONE TRADIZIONALE				REFRAZIONE DIGITALE			
	OCCHIO DESTRO		OCCHIO SINISTRO		OCCHIO DESTRO		OCCHIO SINISTRO	
	T.F SESSO:F ANNI:18	Sf	+2,75 D	Sf	+2,25 D	Sf	+2,50 D	Sf
	Cil	-2,00 D	Cil	-2,50 D	Cil	-2,25 D	Cil	-2,75 D
	Ax	20°	Ax	170°	Ax	19°	Ax	175°

CASO 4.

	REFRAZIONE TRADIZIONALE				REFRAZIONE DIGITALE			
	OCCHIO DESTRO		OCCHIO SINISTRO		OCCHIO DESTRO		OCCHIO SINISTRO	
	I.L SESSO:M ANNI:18	Sf	-4,50 D	Sf	-3,00 D	Sf	-4,50 D	Sf
	Cil	0 D	Cil	0	Cil	-0,25 D	Cil	-0,25
	Ax	-	Ax	-	Ax	170°	Ax	135°

CASO 5.

	REFRAZIONE TRADIZIONALE				REFRAZIONE DIGITALE			
	OCCHIO DESTRO		OCCHIO SINISTRO		OCCHIO DESTRO		OCCHIO SINISTRO	
T.J SESSO: F ANNI:24	Sf	+5,50 D	Sf	+7,00 D	Sf	+5,75 D	Sf	+7,00 D
	Cil	-2,00 D	Cil	-2,75 D	Cil	-2,00 D	Cil	-2,75 D
	Ax	170°	Ax	175°	Ax	177°	Ax	173°

CASO 6

	REFRAZIONE TRADIZIONALE				REFRAZIONE DIGITALE			
	OCCHIO DESTRO		OCCHIO SINISTRO		OCCHIO DESTRO		OCCHIO SINISTRO	
N. G. SESSO: M ANNI: 23	Sf	-1,50 D	Sf	-2,00 D	Sf	-1,75 D	Sf	-2,00 D
	Cil	-1,00 D	Cil	-1,50 D	Cil	-1,25 D	Cil	-1,25 D
	Ax	85	Ax	90	Ax	88°	Ax	94°

CASO 7.

	REFRAZIONE TRADIZIONALE				REFRAZIONE DIGITALE			
	OCCHIO DESTRO		OCCHIO SINISTRO		OCCHIO DESTRO		OCCHIO SINISTRO	
	T. D. SESSO: F ANNI 25	Sf	-3,00 D	Sf	-1,50 D	Sf	-2,75 D	Sf
	Cil	-1,25 D	Cil	-0,75 D	Cil	-1,25 D	Cil	-0,50, D
	Ax	20°	Ax	180°	Ax	17°	Ax	185°

CASO 8.

	REFRAZIONE TRADIZIONALE				REFRAZIONE DIGITALE			
	OCCHIO DESTRO		OCCHIO SINISTRO		OCCHIO DESTRO		OCCHIO SINISTRO	
	E.G. SESSO: M ANNI 23	Sf	-0,25 D	Sf	0 D	Sf	-0,25 D	Sf
	Cil	-3,00 D	Cil	-1,50 D	Cil	-2,75, D	Cil	-1,50 D
	Ax	155	Ax	175°	Ax	170°	Ax	135°

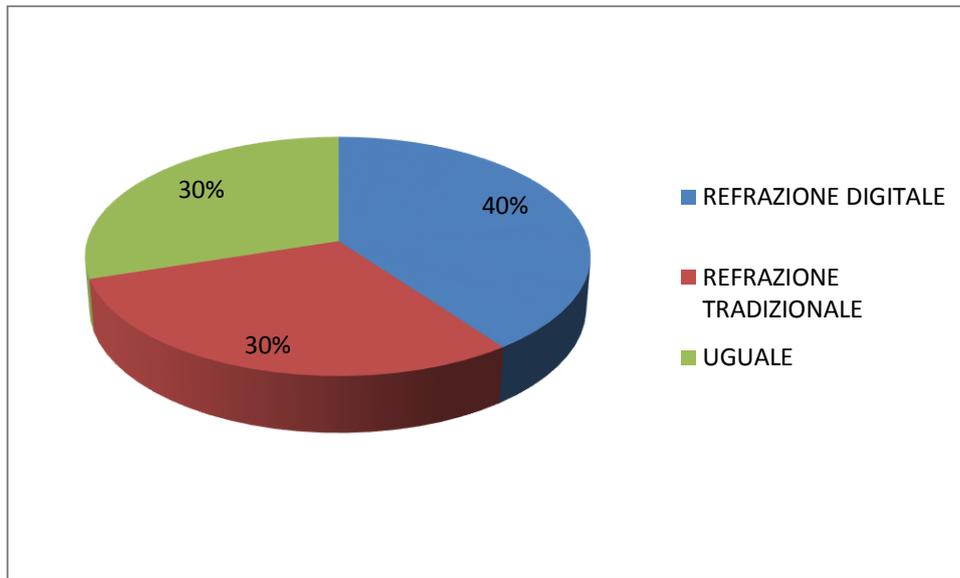
CASO 9.

	REFRAZIONE TRADIZIONALE				REFRAZIONE DIGITALE			
	OCCHIO DESTRO		OCCHIO SINISTRO		OCCHIO DESTRO		OCCHIO SINISTRO	
T.E. SESSO:M ANNI 18	Sf	+2,75 D	Sf	+0,25 D	Sf	+3,00 D	Sf	+0,50 D
	Cil	-0,25 D	Cil	-0,25 D	Cil	-0,25 D	Cil	-0,50 D
	Ax	90°	Ax	85°	Ax	93°	Ax	80°

CASO 10.

	REFRAZIONE TRADIZIONALE				REFRAZIONE DIGITALE			
	OCCHIO DESTRO		OCCHIO SINISTRO		OCCHIO DESTRO		OCCHIO SINISTRO	
M.F SESSO: F ANNI 21	Sf	+1,00 D	Sf	+3,00 D	Sf	-1,25 D	Sf	+3,25 D
	Cil	-1,00 D	Cil	-1,50 D	Cil	-1,00 D	Cil	-1,75 D
	Ax	170°	Ax	135°	Ax	176°	Ax	140°

Dei soggetti esaminati:



- il caso 1, 6, 7, 9 preferiscono, per comfort, la correzione data dalla refrazione digitale. Per entrambi sia con la correzione tradizionale che con quella digitale il visus non cambia.
- Il caso 3, 4, 5 preferiscono, per comfort, la correzione data dalla refrazione tradizionale. Per entrambi sia con la correzione tradizionale che con quella digitale il visus non cambia.
- Il caso 2, 8, 10 non notano differenze tra le due, ne in visus ne comfort.

CONCLUSIONI.

Lo scopo di questo elaborato è stato quello di effettuare un'analisi comparativa tra la refrazione tradizionale e la refrazione digitale al fine di mettere in evidenza i pro ed i contro di entrambe le tecniche.

Da quanto è stato descritto la tecnica digitale permette di ottenere risultati coerenti e molto più precisi grazie all'introduzione dei forotteri a variazioni di potere continue.

Grazie a questi ultimi infatti, anche se dovessero essere inventati nuovi test, algoritmi, programmi o metodi sarà possibile arricchire il nostro "strumento" aggiornando un software.

La digitalizzazione del metodo di refrazione consente, inoltre, una standardizzazione dei metodi d'esame ed anche la riproducibilità dei risultati da un ottico all'altro, in altri termini si rende la refrazione "soggettiva" il più "oggettiva" possibile.

Come i dati raccolti dimostrano, una prescrizione d'occhiale basata esclusivamente su una misurazione oggettiva potrebbe non garantire le migliori prestazioni visive in termini di confort ed inoltre non si tiene conto delle abilità visive del soggetto.

Nonostante il metodo di refrazione digitale permetta di determinare la refrazione con maggiore accuratezza, la refrazione soggettiva tradizionale ha il vantaggio di presentare una serie di caratteristiche che nello strumento digitale non si trovano.

La refrazione "soggettiva" è tale proprio perché il risultato refrattivo finale si ottiene, oltre che sulla base di valori oggettivi, anche sulle risposte SOGGETTIVE dell'esaminato, le quali non vanno trascurate.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.

- [1] rossetti- Pietro Gheller, Manuale di optometria e contattologia, seconda edizione
- [2] Anto rossetti- Pietro Gheller, Manuale di optometria e contattologia, seconda edizione
- [3]Luigi Mele, Andrea Piantanida, Mario Bifani, Marco Iorio; Manuale pratico di vision care: l'astigmatismo e la sua correzione ottica.
- [4] Materiale corso di optometria prof.Carelli Paolo.
- [5] <https://www.dueffetecnovision.it/>
- [6] Gian Paolo Paliaga, I VIZI DI REFRAZIONE IV EDIZIONE.
- [7] Special abstract-analisi vettoriale dell'astigmatismo:confronto tra refrazione oggettiva aberrometrica e refrazione soggettiva-Carlotta Pitarresi Giannone.
- [8] immagine tratta da Thibos, Weeler e Honer, 1997.
- [9] Points de Vue - International Review of Ophthalmic Optics pubblicazione online - Novembre 2020.
REFRAZIONE SOGGETTIVA: UN NUOVO METODO VETTORIALE PER LA DETERMINAZIONE DEL CILINDRO parte 1/3
- [10] Points de Vue - International Review of Ophthalmic Optics pubblicazione online - Novembre 2020.
UN NUOVO APPROCCIO ALLA REFRAZIONE SOGGETTIVA.
- [11] Points de Vue - International Review of Ophthalmic Optics pubblicazione online - Novembre 2020
REFRAZIONE SOGGETTIVA: UN NUOVO METODO VETTORIALE PER LA DETERMINAZIONE DEL CILINDRO parte 2/3.
- [12] Points de Vue - International Review of Ophthalmic Optics pubblicazione online - Novembre 2020.
REFRAZIONE SOGGETTIVA: UN NUOVO METODO VETTORIALE PER LA DETERMINAZIONE DEL CILINDRO parte 3/3