

Lo STAR TEST – consigli pratici

Affrontiamo qui solo alcuni aspetti teorico-pratici dell'uso dello "star test". Non è il caso di ripetere quanto già scritto in altri testi presenti sul sito "www.funsci.com":

- per una descrizione generale delle aberrazioni,
- per una sommaria descrizione teorica dell'immagine di diffrazione o "figura di Airy" (useremo indicarla col termine "centrica"),
- per il principio di funzionamento dello star test,
 si veda il manuale: "Problemi Tecnici della Microscopia Ottica", Capitoli, rispettivamente, 13, 18.3 e 18.4;
- per una descrizione delle alterazioni che la centrica subisce negli obiettivi di fase,
 si veda l'articolo n° 25 ("La formazione dell'alone ..."), a pag. 4-5;
- per l'uso pratico dello star test,
 si vedano gli articoli n° 11 ("Controllo dei residui ..."), pagg. 5-16 e l'art. n° 18 ("Come controllare ed intervenire ..."), pagg. 28-35.

Ricordiamo solo che lo star test è lo strumento principe per verificare e valutare:

- in un obiettivo ben centrato:
 - le aberrazioni del punto, sia "assiali", che si verificano su tutto il campo dell'obiettivo e quindi anche "in asse" (sferica e cromatica longitudinale), sia "extra-assiali", che si verificano solo "fuori asse" (coma, astigmatismo e, in parte, cromatica laterale o CVD);
 - gravi difetti contingenti (sporcizia sulla lente frontale o sull'emergente, scollature, opacizzazioni, ecc.).
- in un obiettivo malamente centrato:
 - coma "in asse", al centro del campo (cattiva centratura di qualche lente);
 - astigmatismo "in asse" (cattiva inclinazione di qualche lente o di altro componente sopra l'obiettivo (prismi, ecc.)).

Le aberrazioni "del piano" (curvatura di campo e distorsione) si apprezzano e si misurano invece quasi esclusivamente col "reticolo" a righe parallele, opache e trasparenti. Tale reticolo inoltre è quasi indispensabile per una buona valutazione delle aberrazioni cromatiche, sia longitudinale, sia laterale (CVD), con i relativi problemi di "compensazione" fra obiettivo ed oculare. Esso inoltre consente di apprezzare e misurare il contrasto dell'immagine.

Il MONTAGGIO¹

Lo star test non è altro che un normale porta-oggetti su cui, per evaporazione sotto vuoto, è stato depositato un sottile strato di alluminio. In questo, per varie ragioni, si formano sempre dei forellini di varia dimensione. I più piccoli sono quelli che servono alla verifica degli obiettivi da microscopio (vedi l'art. n° 11 ["Controllo dei residui ..."], pag. 9).

In genere, tutto il porta-oggetto è alluminato e pertanto è possibile sfruttarne diverse parti per scopi diversi.

Eccoli.

- Per l'uso con obiettivi episcopici, calcolati per lavorare senza copri-oggetti (o "lamella") ($d = 0$), occorre lasciare scoperta una parte del vetrino. Purtroppo, essendo l'alluminio molto tenero ed essendo inopportuna la protezione che normalmente si usa per gli specchi

¹ Il termine "montaggio" viene dal fatto che l'"oggetto" di uno star test è lo strato metallizzato e, in qualunque preparato microscopico, l'oggetto viene "montato" immergendolo in apposito liquido e proteggendolo con un copri-oggetto. È quello che va fatto anche per lo star test. Il liquido usato per il montaggio è il "montante".

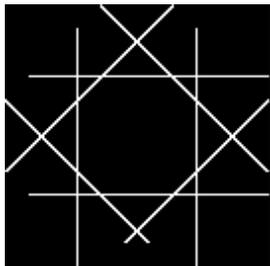
alluminati (“quarzatura”, ovvero deposito di un sottile strato di silice, che provocherebbe fenomeni interferenziali nei forellini), la parte scoperta andrà trattata con molta cura e pulita con estrema delicatezza (pennellino molto morbido e liquido solvente).

– Per il controllo delle aberrazioni cromatiche, cioè per avere un oggetto con contrasto del 100% e bordi netti, è bene solcare lo strato di alluminio con una o più righe tracciate con una sottile lama (va bene una lametta da barba, guidata da un qualunque righello).

Durante l’osservazione, se i bordi delle righe mostrano delle frange colorate, si può osservare il loro colore e come esso vari colla focalizzazione e nei vari punti del campo; con un micrometro oculare è possibile misurare la larghezza delle frange.

– Per l’osservazione della pupilla d’uscita col metodo della “fessura decentrata” (vedi la Scheda tecnica n° 22 – [Obb. Zeiss Planapo 63/1,4], pag. 154 e la Scheda n° 25 – [Obb. Turi 40/0,65], pag. 171), è bene tracciare otto righe inclinate fra loro di 45°, in modo da formare un piccolo ottagono, come in figura 1.

Fig. 1



(Per far bene, occorrerebbe tracciare due sistemi di righe, uno scoperto per gli obiettivi EPI, uno coperto da lamella (vedi sotto) per gli obiettivi normali. Se si trova spazio sufficiente sul portaoggetti ...).

Portando una delle righe trasparenti così ottenute ai margini del campo visuale e focalizzandola, si ottiene una specie di illuminazione obliqua della pupilla d’uscita, che aiuta a rivelare anche le più incipienti scollature ed irregolarità nel sistema obiettivo. L’utilità di avere svariate fessure diversamente inclinate viene dal fatto che molte scollature producono nell’adesivo che unisce le lenti una serie di increspature sub-parallele che acquistano il massimo contrasto quando il fascio illuminante giace in un piano perpendicolare alle increspature medesime. Piuttosto che voltare il vetrino ...

– Per facilitare la focalizzazione dello star test (all’inizio si vede tutto nero, come se l’occhio fosse spostato rispetto all’oculare), le righe trasparenti appena citate sono preziose: muovendo a caso il sistema delle fessure sotto l’obiettivo, prima o poi una di esse attraversa il campo visuale, il quale diviene improvvisamente illuminato e ciò consente la messa a fuoco precisa.

– Per valutare la correzione della sferica nell’obiettivo in esame (salvo il caso degli obiettivi EPI, per i quali serve la parte scoperta sopra citata) occorre coprire una parte dello star test con una lamella dello spessore preciso di 0,17 mm. Una lamella di tale spessore si può ottenere misurando con cura lo spessore di diverse lamelle estratte da una scatola del n° 1 o 1,5 (una volta tale indicazione era normale; oggi è diventata una rarità). Ci si serve di un micrometro centesimale a ganascia (“Palmer”), fissato stabilmente con una morsa o altro supporto. Si abbia cura di eseguire la misura nei quattro angoli di ogni lamella poiché il loro spessore non è mai uniforme, nemmeno all’interno di una singola lamella. La tolleranza nello spessore deve essere la più alta possibile poiché, negli obiettivi forti a secco, tale tolleranza può arrivare a $\pm 5 \mu$ (0,005 mm) e sarebbe un peccato accusare un tale obiettivo di scarsa correzione se la colpa è della lamella.

Nell’eseguire il controllo della sferica, si ricordi che essa dipende anche dalla lunghezza del tubo e quindi dalla lunghezza equivalente di eventuali tubi intermedi, dall’altezza del primo fuoco dell’oculare, ecc. Tali parametri dovranno essere quindi controllati in anticipo.

– Per valutare quale è lo spessore ottimale della lamella, quello che minimizza il residuo di sferica in un obiettivo, può essere utile incollare sullo star test tre o quattro lamelle di diverso spessore. Misurando molte lamelle, possibilmente da diverse scatole o di diverso fabbricante, si può riuscire a trovare lamelle di spessore $d = 0,14 - 0,17 - 0,20$. Se si scelgono lamelle quadrate piccole (18×18 mm, ad es.), lo spazio occupato da tre lamelle accostate copre una fascia di $3 \times 18 = 54$ mm dello star test. E si ricordi che una lamella può venir facilmente

tagliata con una punta di diamante, come quelle usate dai vetrai; si evitino i comuni taglia-vetri, quelli con la rotellina di metallo duro, poiché questi richiedono una forte pressione sul vetro.

– Per non aggiungere allo spessore della lamella uno spessore indesiderato di montante e per ridurre il pericolo di distacco della lamella, quest'ultima va incollata lasciando uno strato di "montante" fra i due vetrini più sottile possibile. Per ottenere ciò, dopo aver deposto una goccia di montante sullo star test e la lamella sulla goccia, si applichi sulla lamella un pesetto, come un bullone da 8×30 . Si sorvegli ogni tanto che un'eventuale inclinazione, anche piccola, del piano d'appoggio non faccia lentamente scivolare la lamella fuori dalla sua sede.

Se il montante deborda dalla lamella, lo si lasci seccare e poi si tolga ciò che è di troppo con uno straccetto o un pezzo di carta da asciugamani inumidito con un qualunque solvente di vernici. Dicono che va bene anche l'acetone.

Come montante è caldamente raccomandato il balsamo del Canada NATURALE, poiché quello più spesso fornito è artificiale, col tempo si ritira o si stacca dalla lamella e lo star test diviene inutilizzabile. Purtroppo, il balsamo naturale è sempre più difficile da trovare e costa molto. Il suo indurimento può richiedere settimane o mesi, specialmente se è del tipo sciropposo; per fortuna, di solito viene venduto in soluzione in xilolo, ed allora l'essiccazione avviene in una o due settimane.

L'OCULARE CONSIGLIATO

Per il controllo della sferica e della eventuale "coma in asse" o "astigmatismo in asse" conviene usare un oculare più forte possibile, anche con indice di campo molto piccolo, poiché quello che interessa è solo il centro del campo.

Poiché è difficile trovare oculari d'ingrandimento superiore a $15 \times$, può essere utile usare un oculare astronomico (ne esistono con focale anche inferiore a 8 mm, il che equivale ad un ingrandimento visuale di oltre $30 \times$) o anche un oculare recuperato da un piccolo binocolo compatto $8 \times$ o $10 \times$. In questi casi, occorrerà realizzare un raccordo che tenga centrato questo oculare posticcio sulla boccola porta-oculari e lo tenga all'altezza corretta, quella per cui il primo fuoco dell'oculare si trova a 10 mm (valore molto diffuso) sotto l'orlo del tubo porta-oculari.

Altro espediente è di sovrapporre all'oculare normale del microscopio un cannocchiale debole ($3 \times$ o $4 \times$) messo a fuoco sull'infinito; un tale strumento deve essere auto-costruito poiché solo certi costruttori offrono questo accessorio col nome di "focussing aid", consigliandolo per facilitare la messa a fuoco in fotomicrografia, specialmente cogli obbiettivi deboli (vedi il manuale: "Problemi Tecnici della Microscopia Ottica", Cap. 30.8.3, par. b). Se lo si vuole auto-costruire, si ricordi che basta avere un rapporto di circa 1:3 o 1:4 fra la focale del suo oculare (va bene un oculare da microscopio da $10 \times$) e quella del suo obbiettivo, che potrebbe essere ricavato da un binocolino compatto (mettendo a fuoco il sole, verificare che abbia una focale non superiore a 100 mm).

Ovviamente questo piccolo cannocchiale deve essere focalizzato "all'infinito": la distanza fra i due sistemi di cui è composto andrà variata finché attraverso di esso si vede bene a fuoco un oggetto lontano (un panorama, un edificio ad almeno 50 m di distanza, ecc.).

Comunque sia, per questa applicazione non c'è da preoccuparsi della correzione cromatica dell'oculare o del "focussing aid"; compensatore o acromatico, qualunque oculare va bene poiché la compensazione negli oculari riguarda solo la CVD, che in asse non esiste.

Invece, per il controllo delle aberrazioni extra-assiali, poiché esse sono tanto più forti quanto maggiore è il campo dell'obbiettivo (il diametro dell'immagine intermedia utilizzata), occorre usare un oculare debole (di solito un $10 \times$) con un indice di campo (s') almeno pari al campo nominale dell'obbiettivo (di solito, fra 18 e 22 mm).

In questo caso, è importante usare un oculare col giusto grado di compensazione, che sarà diverso da un obbiettivo all'altro, anche della stessa serie (vedi l'art. n° 18: "Come controllare ed

intervenire ...”, pag. 3-7). In assenza di compensazione corretta, l’obiettivo presenterà un residuo di CVD, ma non sarà tutta colpa sua.

Per il controllo della coma e dell’astigmatismo ai margini del campo si useranno i fori più piccoli dello star test; per il controllo della CVD saranno più utili le fessure sopra descritte.

L’ILLUMINAZIONE

Poiché la centrica è tanto più perfetta quanto più piccolo è il foro osservato, la sua brillantezza sarà sempre modesta. Pertanto la sua illuminazione dovrà avere la massima intensità possibile.

Le indicazioni pratiche da seguire sono molto semplici: – dare al condensatore la massima apertura possibile, sia aprendo tutto il diaframma d’apertura, sia scegliendo un modello ben corretto da sferica (“aplanatico”) in modo che il fascio da esso prodotto converga in un piano più o meno definito – focalizzare empiricamente il condensatore in modo da vedere la massima brillantezza della centrica (l’inevitabile presenza di sferica nel condensatore fa sì che i raggi convergano a diversa altezza) – togliere tutto ciò che assorbe o riflette il fascio illuminante o quello formatore d’immagine (filtri, prismi, cambiatori d’ingrandimento, smerigliati, diaframmi anulari, ecc.) – alimentare la micro-lampada al massimo consentito.

Potrebbe essere utile disporre di uno specchio orientabile sotto al tavolino ed illuminarlo con una forte microlampada esterna.

L’INTERPRETAZIONE

La centrica ideale

La centrica viene in genere illustrata con una figura del tipo di fig. 2. Essa mostra come varia l’illuminazione nell’immagine di un oggetto puntiforme (luminoso su fondo scuro), vista nel piano “di miglior fuoco”, un piano perpendicolare all’asse ottico dove la centrica assume le minime dimensioni. Tale figura rappresenta il prodotto di un sistema “otticamente perfetto”, in cui la somma delle aberrazioni del punto produce un “cerchio di confusione” geometrico più piccolo del “disco di Airy” ed in cui non vi sono altre cause di alterazione.

Come è noto (vedi il manuale: “Problemi Tecnici della Microscopia Ottica”, Cap. 18.3, Tab. III), in questa centrica teorica l’84% dell’energia è concentrato nel picco centrale (“disco di Airy”); pertanto nessun sistema fotografico o tipografico può rendere il fortissimo contrasto esistente fra il disco e gli anelli. I falsi colori della fig. 2 danno solo una pallida idea di questo contrasto. Nell’osservazione visuale, data la risposta logaritmica della nostra retina, le cose vanno molto meglio, ma sempre con difficoltà.

Fig. 2

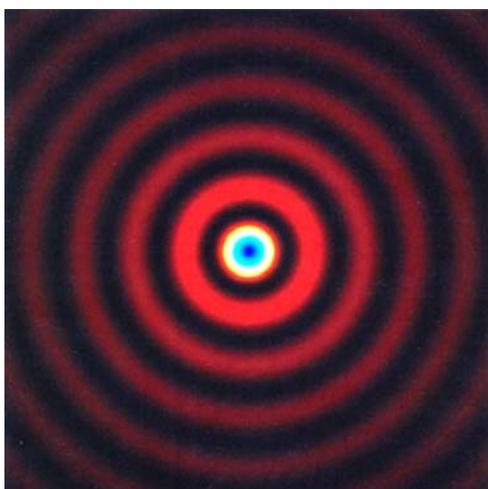
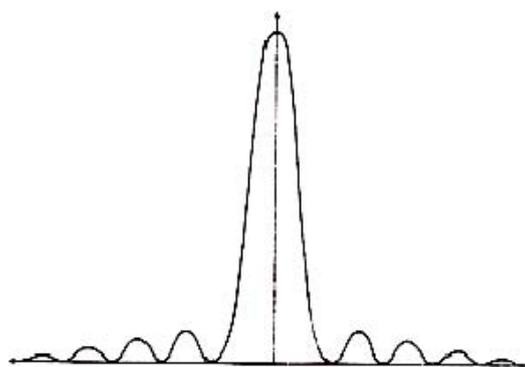


Fig. 3



La fig. 3 rappresenta il profilo fotometrico, cioè il valore dell’intensità, lungo una linea diametrica della fig. 2.

Ma, in un microscopio, cosa si vede?

Supposto un buon obiettivo ed un sistema correttamente messo a punto, ci si deve aspettare di vedere il disco circondato da un paio di anelli o poco più, spesso con qualche irregolarità (sporcizia, polvere, difetti vari); le foto più avanti mostreranno alcune foto realistiche.

Ma, per ben interpretare le immagini dello star test, occorre chiarire bene com'è fatta la centrica. Si tratta di un fascio che prima converge verso una macchiolina di minimo diametro e poi diverge, una struttura a tre dimensioni, con chiari e scuri distribuiti secondo precise formule (a parte i difetti contingenti). Globalmente, una figura a forma di doppio cono: due coni con l'asse ed il vertice in comune. All'interno di questo **bi-cono**, dai contorni sfumati, si crea una distribuzione particolare di chiari e scuri, simmetrica attorno all'asse del bi-cono, e questa distribuzione teorica va sempre tenuta presente.

Nella fig. 4 è mostrata una sezione longitudinale della centrica, passante per l'asse del bi-cono. La fig. 2 potrebbe essere una sezione trasversale del bi-cono, passante per il punto di minimo diametro.

Fig. 4

Infatti, se immaginiamo di porre uno schermo perpendicolare all'asse, all'altezza della freccia di destra, vedremo una macchia molto illuminata al centro, un primo cerchio concentrico abbastanza chiaro, un secondo cerchio più pallido, ecc., sempre più sfumato. La figura 4 non mostra nulla oltre il secondo anello, ma anche gli altri ci sono.

Questa, che si potrebbe chiamare lo "stato di miglior fuoco", mostra il disco di Airy nelle condizioni di minor diametro, col minor numero di anelli visibili, dunque capace di dare all'obbiettivo la massima risoluzione

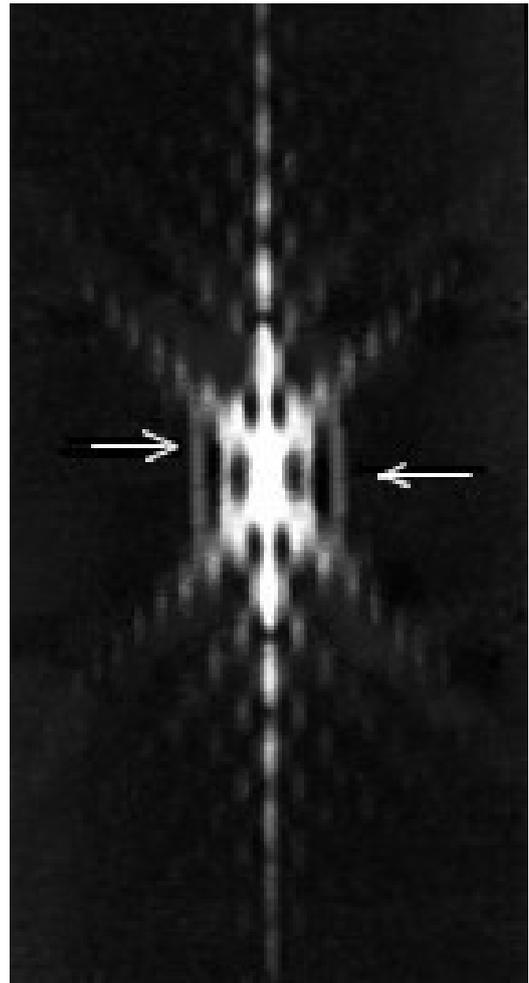
Se però spostiamo lo schermo più in alto o più in basso, cioè effettuiamo un'altra sezione trasversale della figura, per es. all'altezza della freccia di sinistra, vedremo il disco che si fonde col primo anello (e parallelamente diviene meno intenso, anche se la figura non riesce a mostrarlo per i limiti di contrasto di cui parlavamo innanzi). Il "cerchio di confusione" si è allargato; la risoluzione è diminuita.

Se si prosegue con sezioni trasversali sempre più distanti dal piano di miglior fuoco, vedremo che il disco diviene più piccolo e più pallido, mentre gli anelli aumentano d'intensità ed un maggior numero di essi diviene visibile.

Proseguendo, si osservi il fascio centrale, in corrispondenza dell'asse del bi-cono: esso alterna zone chiare e zone scure; intorno ad esso, gli anelli si allargano sempre più. In sezione trasversale, spostando il fuoco, si vedrebbe il disco di Airy che alternativamente diviene chiaro e scuro, e gli anelli che si allargano e si sfumano gradatamente.

Nella figura che segue (fig. 5), è mostrata una serie di foto reali di una centrica, a partire dalla condizione di miglior fuoco e poi in una serie a sfocatura crescente verso l'alto. Una serie di foto eseguite in piani corrispondenti verso il basso mostrerebbe lo stesso quadro, semplicemente rovesciato in giù. Le foto sono state disposte in modo da dare una visione pseudo-prospettica del fenomeno.

Si noti che, nella realtà, le sezioni più basse sono assai più luminose di quelle alte; queste ultime sono state rese più brillanti (sfruttando i mezzi informatici) al fine di renderle più leggibili. In condizioni normali, le figure più in alto risulterebbero praticamente invisibili.



Si noti anche che le figure più vicine al miglior fuoco, quelle in basso nella fig. 5, sembrano semplici macchioline senza struttura. Ciò è dovuto al fatto che esse sono troppo piccole.

Volendo guardare la più piccola, ma ingrandita ed in vista dall'alto, non in prospettiva come indicato in fig. 5, si vedrebbe qualcosa di simile alla fig. 6, con la solita riserva della cattiva resa del contrasto nella fotografia: nell'osservazione visuale si distinguerebbe meglio l'anello nero che separa fra loro i vari anelli, ed il disco di Airy apparirebbe assai più brillante.

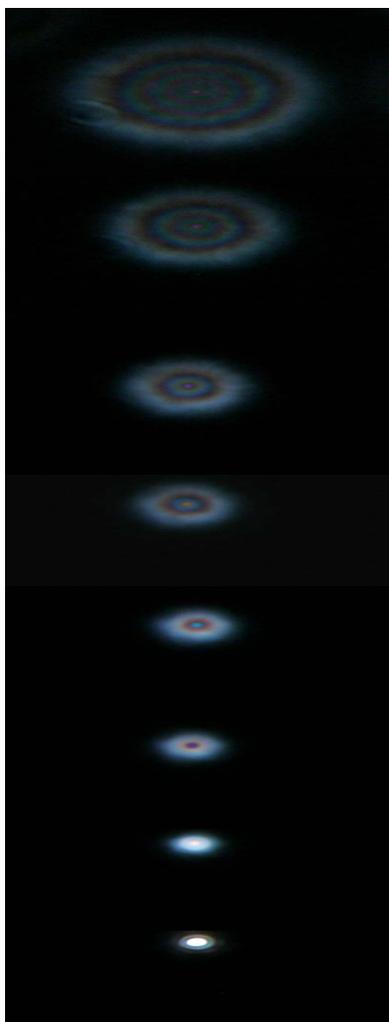


Fig. 5

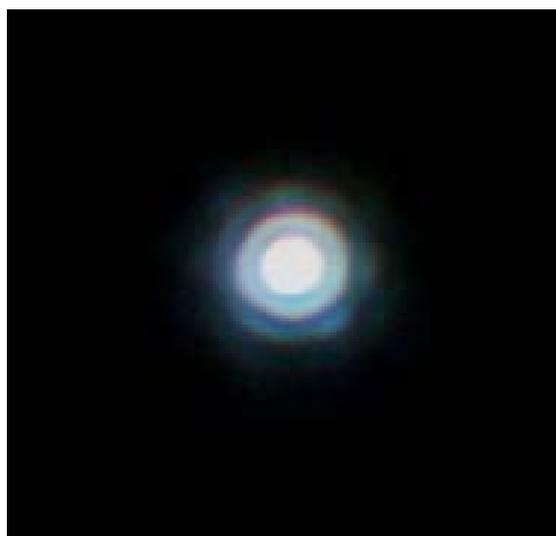


Fig. 6

Nelle due pagine che seguono, è visibile una serie assai più nutrita di foto eseguite in piani successivi di messa a fuoco a partire dal miglior fuoco, ma non in prospettiva. Esse vanno viste come sezioni trasversali della centrica (intesa come bi-cono), parallele fra loro, sempre da una parte sola della condizione di miglior fuoco, tutte perpendicolari all'asse del bi-cono, più ricche di dettagli di quanto si possa vedere in fig. 5.

Ancora una volta, le foto corrispondenti al miglior fuoco (la prima in alto a sinistra in pag. 7) non mostrano bene la struttura della centrica per essere troppo piccole. Pertanto si ritorni alla fig. 6 la quale mostra, a maggiore ingrandimento, la foto "più a fuoco" e se ne apprezza allora la complessità.

Esaminando la serie di foto a pag. 7 ed 8 (fig. 7) si vedrà come il disco di Airy s'inverte divenendo alternativamente chiaro e scuro e come gli anelli si allargano e si sfumano gradualmente. Ciò corrisponde a sezioni eseguite nella centrica ad altezza crescente.

Si fa notare che tutte queste foto sono state riprodotte con un ingrandimento successivo per via elettronica poiché esse, riprodotte come appaiono in un oculare normale, sarebbero ben difficilmente interpretabili. L'ingrandimento è rigorosamente uguale in tutte le foto e corrisponde a quanto mostrerebbe un oculare da circa $50 \times$.

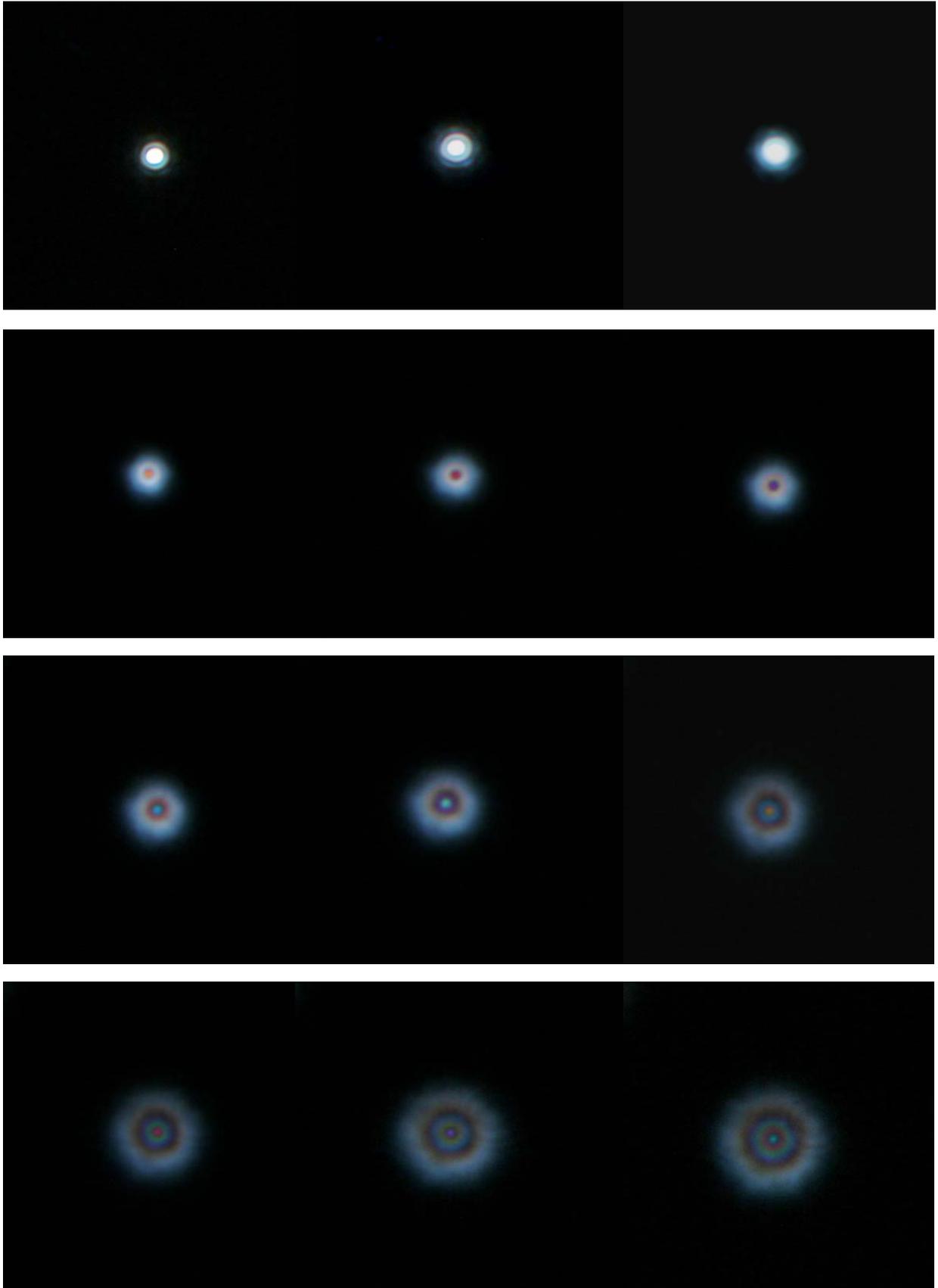


Fig. 7 A

(Img 3141-3142-3143 // 3147-3148-3149 // 3150-3151-3152 // 3153-3154-3155)



Fig. 7 B

(Img 3156-3157-3158)

Tutte le considerazioni e le foto esposte finora si riferiscono ad un obiettivo reale ma quasi ideale, comunque ben corretto da sferica e ben centrato.

Se poi ci si chiede qual è la causa di questa complessa struttura della centrica a tre dimensioni, occorre rivolgersi ad un'analisi matematica che calcoli il risultato dell'interferenza fra le innumerevoli onde elementari di diffrazione che si generano (per il principio di Huygens) da ogni punto della pupilla dell'obiettivo.

La sfocatura

Nelle foto della centrica molto vicine al miglior fuoco non è facile distinguere certi dettagli, sempre per l'incapacità di qualunque sistema fotografico di rendere le sfumature di contrasto. Per es., nelle due prime foto della pagina precedente si distingue solo una lieve differenza di diametro ma, in seguito a misure fotometriche precise, è possibile tracciare una curva (fig. 8) che mostra come una sfocatura di appena $\lambda/4$ in direzione assiale provoca una diminuzione dell'intensità del disco di Airy del 20% ed un aumento d'intensità del primo anello nero da 0% a circa 5%. Il diametro del disco a metà altezza aumenta parimenti del 20% circa. Ecco perché la minima sfocatura provoca una caduta della risoluzione e del micro-contrasto.

Fig. 8

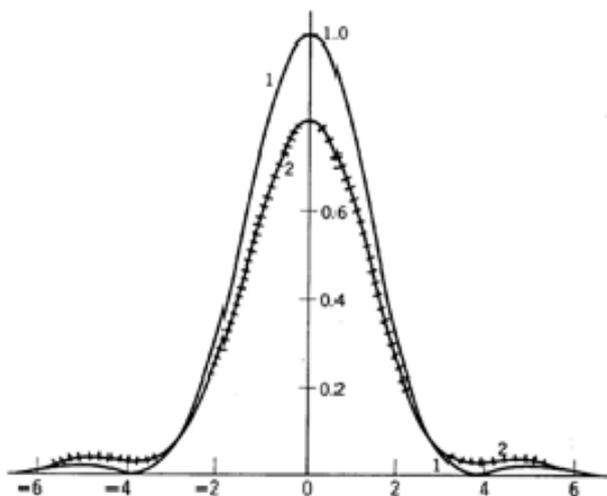


Fig. 8 – Profilo fotometrico di una centrica nel piano di miglior fuoco (curva 1, a tratto intero) e per un'onda sfocata, per un valore di $\lambda/4$ (criterio di Lord Rayleigh)(curva 2, tratteggiata)

I colori della centrica

Si sarà notato nelle foto precedenti che la centrica appare sempre più o meno colorata. Verrebbe da pensare che ciò dipenda da un residuo di cromatica longitudinale nell'obbiettivo. Può essere, ma in un obbiettivo da microscopio di media qualità questi effetti sono difficilmente apprezzabili.

Più sicuro è un effetto di principio, ineliminabile. Nel manuale: "Problemi Tecnici della Microscopia Ottica", Cap. 18.3, Tab. II, vengono date le dimensioni del disco di Airy e dei primi anelli della centrica; ebbene, tutte queste dimensioni sono espresse come funzione di λ (lunghezza d'onda). Ciò significa che, illuminando lo star test con luce bianca, le dimensioni di ogni elemento della centrica varieranno in dipendenza dal colore. In altre parole, il disco e gli anelli saranno bordati da aloni colorati e, se sono piccoli, saranno essi stessi colorati.

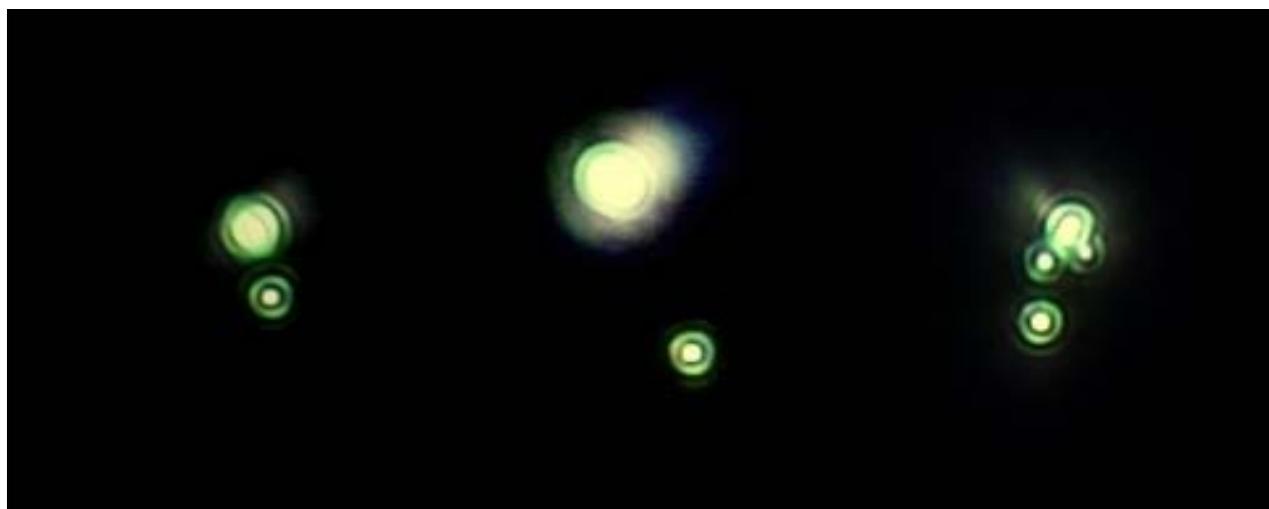
Nulla di preoccupante; basta conoscerne la causa che è, comunque, ineliminabile.

LA SCELTA DEL FORO

Finora abbiamo tacitamente supposto che l'immagine geometrica del foro presente nello star test (immagine formata dall'obbiettivo in esame) sia più piccola del disco di Airy. In questo modo, la forma teorica della centrica non viene apprezzabilmente deformata.

Ma come esser sicuri che il foro che stiamo osservando sia veramente così piccolo?

Nelle foto che seguono (fig. 9), tutte ingrandite nella stessa misura, non è difficile capire che le centriche in basso, anche se con diversa luminosità, hanno tutte la stessa struttura e quindi corrispondono al modello ideale. Quelle in alto, già sospette per avere una maggior luminosità, hanno anche una forma diversa e pertanto sono da scartare (fig. 9). Prima di trarre conclusioni circa lo stato di correzione di un obbiettivo è bene quindi esaminare molti forellini, in modo da costruirsi un'immagine mentale media della centrica ideale, per quelle particolari condizioni.



Obb. 20 Epi; d = 1 – Img_3196/3197/3200

Fig. 9 – Combinazione di tre fotografie, allo stesso ingrandimento, di vari fori dello star test. Basta poca esperienza per capire quali sono le centriche regolamentari e quali sono disturbate da un'immagine geometrica eccedente.

IL CONTRASTO DI FASE

Si sa che gli obbiettivi a contrasto di fase hanno una pupilla d'uscita modificata dalla presenza dell'anello di fase e tale presenza non può che alterare anche la struttura della centrica (cfr. l'art. n° 25: "La formazione dell'alone ...", pag. 4 – 5).

Riassumendo la questione: nella posizione "di miglior fuoco" il disco di Airy è un po' più piccolo del normale (lieve aumento di risoluzione) ma gli anelli sono più fini, più numerosi ed intensi (perdita di contrasto anche su aree relativamente estese). Fuori dal miglior fuoco, il disco di

Airy può risultare ancora più piccolo del normale, ma circondato da tanti e tali anelli che il cerchio di confusione globale diviene enorme. Risultato: mai usare un obiettivo di fase in fondo chiaro.

Esempi di come varia l'aspetto della centrica, al variare del fuoco di un obiettivo di fase, si trovano nelle foto seguenti: una serie di foto riprese a partire da quella di "di miglior fuoco" verso posizioni sempre più sfocate (fig. 10).

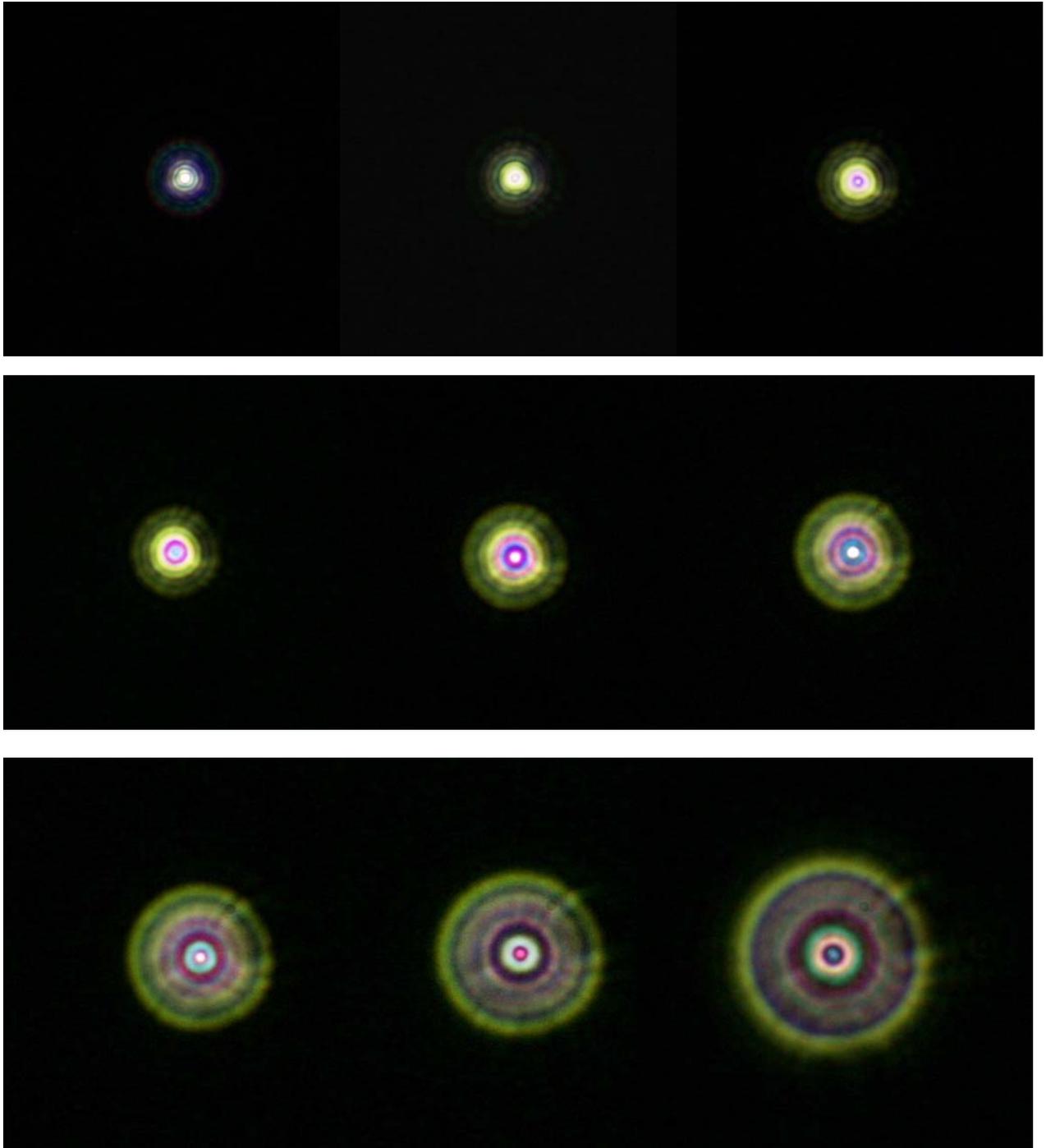


Fig. 10 A – Serie di centriche riprese a varia distanza dalla posizione “di miglior fuoco”. Come al solito, le foto più pallide (le centriche più sfocate) sono state schiarite per via elettronica per consentirne una migliore analisi.

I colori nella centrica sono anche più vivi del solito poiché anche il potere ritardante dell'anello di fase è funzione di λ .

L'ingrandimento delle varie foto è sempre lo stesso, e corrisponde ad un oculare di circa $60\times$.

(Phv40 3182–3184–3185 // 3186–3187–3188 // 3189–3190–3192).

Obb. Jena Phv 40/0,65.

Fig. 10 B – La centrica fornita da un obiettivo acromatico di fase a doppio anello (Phv Zeiss Jena, 40 / 0,65), nelle condizioni “di miglior fuoco”. Questa immagine è stata ulteriormente ingrandita in modo da corrispondere a quanto si vedrebbe con un oculare da 150 ×.

Si noti che si vedono più anelli di una centrica normale (confronta con la fig. 6).

(Phv40_3181b)



LA SFERICA

Finora si è detto che la centrica ideale rappresenta una distribuzione di intensità riassumibile in una forma geometrica solida, a tre dimensioni (quella che abbiamo chiamato “bi-cono”). Si è anche detto che tale struttura è schematizzabile come una figura simmetrica, due coni col vertice in comune, simmetrici rispetto ad un piano mediano perpendicolare all’asse, corrispondente al piano in cui il bi-cono mostra il minimo diametro, che è poi il piano immagine “di miglior fuoco”.

Si è anche detto, però, che questa centrica ideale si può osservare solo in un sistema corretto dalle “aberrazioni del punto assiali”, almeno al centro del campo immagine.

Così, abbiamo già accennato al fatto che un’imperfetta correzione della cromatica longitudinale mostrerebbe la centrica con diversi colori, diversi a parità di scostamento, verso l’alto o verso il basso, dal piano di miglior fuoco, anche se in pratica difficilmente percepibili. S’intende, lavorando in luce bianca.

Lavorando invece in radiazione monocromatica, questo effetto sparirebbe (si tratta di un’aberrazione “cromatica”).

Viceversa, un effetto assai vistoso e frequente dipende da un residuo di sferica. Anche se si tratta di un’aberrazione “non cromatica” (esiste anche lavorando in radiazione monocromatica), i suoi effetti variano leggermente in funzione di λ . Qualcuno parla di “sfero-cromatica”.

Le manifestazioni della sferica sono già descritte nei testi citati, ma le riassumiamo:

– Il disco di Airy nella posizione “di miglior fuoco” è più grande del normale e gli anelli sono più intensi (perdita di risoluzione)(fig. 11 al centro).

– Da un lato del “miglior fuoco”, la centrica appare col disco più piccolo (lieve aumento di risoluzione) ma gli anelli sono più intensi (perdita di micro-contrasto)(fig. 11 a sinistra). È questa la “**immagine ad anelli**”.

– Dall’altro lato della messa a fuoco la centrica appare con un puntino più luminoso al centro (poco visibile in fig. 11 a destra, a causa della solita cattiva resa dei contrasti), ma circondato da un ampio alone sfumato, senza anelli (“**immagine sfumata**”).

Alla fine, la forma della centrica non è più simmetrica rispetto alla posizione “di miglior fuoco”. Uguali scostamenti, sopra e sotto il miglior fuoco, producono figure diverse.

Si ricordi la regola pratica citata nel manuale: “Problemi Tecnici della Microscopia Ottica”, Cap. 18.4: *se l’immagine “ad anelli” si presenta quando l’obiettivo si avvicina all’oggetto (“focheggiatura corta”), la sferica è sottocorretta, e ciò dipende da una lamella troppo sottile, da una lunghezza del tubo insufficiente o da una distanza troppo piccola fra le prime due lenti dell’obiettivo. L’immagine ad anelli con “focheggiatura lunga” (quando l’obiettivo si allontana dall’oggetto) significa che vi è un residuo di sferica sovracorretta che dipende da cause opposte a quelle sopra citate.*

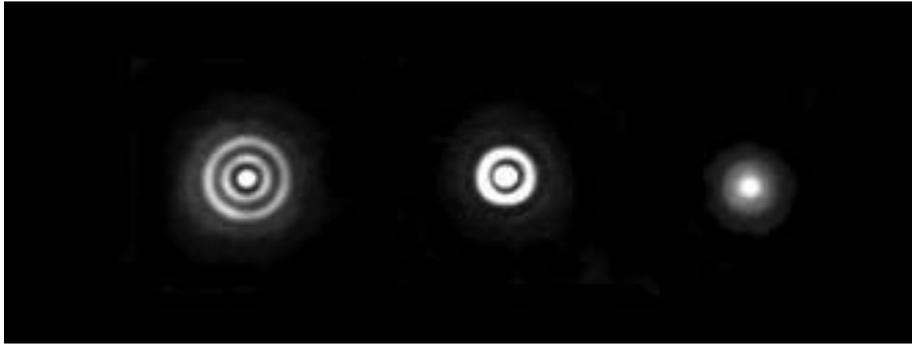
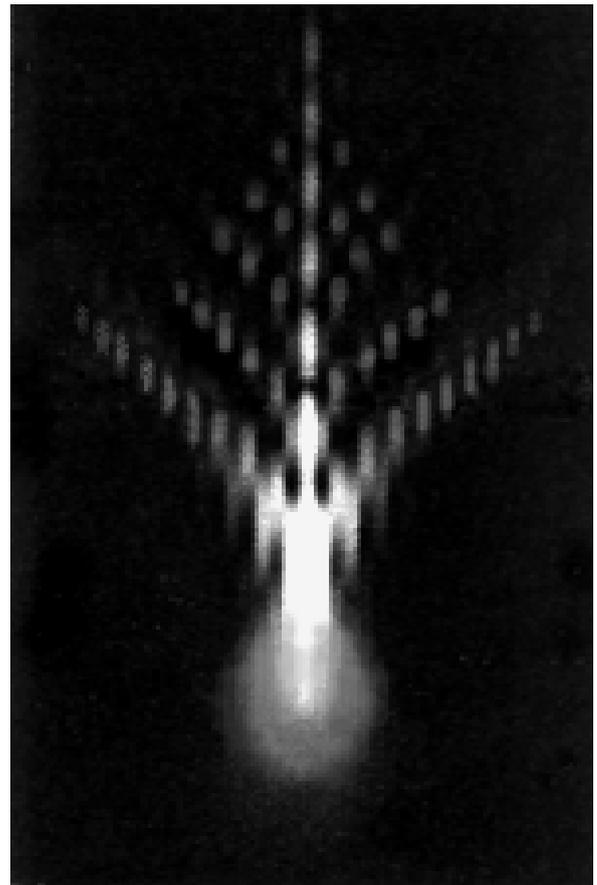


Fig. 11 – Aspetto della centrica in diverse posizioni del fuoco, in un sistema affetto da forte sferica.

Fig. 12

Questa situazione viene rappresentata in una sezione longitudinale del “bi-cono”, come si vede in fig. 12.

Immaginando di eseguire sezioni trasversali a varia altezza di questa struttura, si vede al centro un intenso disco di Airy con un forte primo anello (come corrisponde alla fig. 11 al centro). Verso l’alto, un piccolo disco con molti anelli (“immagine ad anelli”, fig. 11 a sinistra). Verso il basso, un disco centrale sempre meno intenso, con un forte alone sfumato, senza anelli (fig. 11 a destra).



Vediamo ora un caso reale di sferica, descritto nell’art. n° 18: “Come controllare ed intervenire ...”. Riportiamo da quell’articolo l’intera pagina 29, con la fig. 22 e la relativa didascalia.

Dopo quanto si è detto, dovrebbe riuscire tutto abbastanza chiaro.

(Fig. 22) – Un gruppo di centriche corrispondenti ad altrettanti forellini dello star test (di vario diametro, ma tutti più piccoli della centrica ideale²).

La posizione del fuoco è diversa per ognuna delle foto, passando gradualmente da una tipica “immagine sfumata” (in alto) ad una tipica “immagine ad anelli” (in basso). Queste differenze nell’aspetto della centrica al variare del fuoco sono l’indice sicuro di un forte residuo di sferica nell’obbiettivo in esame.

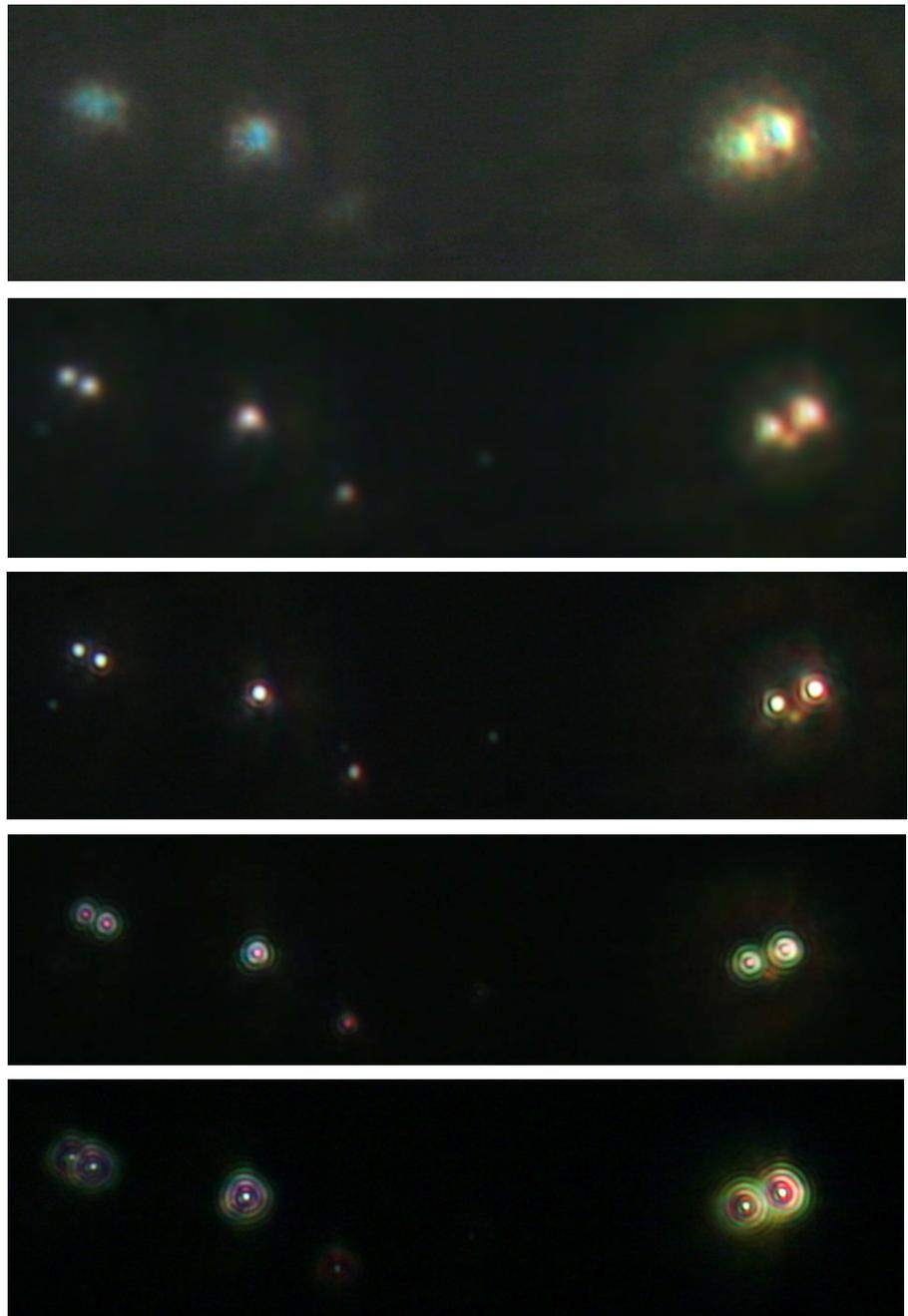
Qui non sono presenti apprezzabili residui di altre aberrazioni.

L’immagine centrale, corrispondente alla posizione di miglior fuoco, mostra una centrica che sembra normale, ma in realtà è più grande di quanto si avrebbe in assenza di sferica e gli anelli sono più intensi.

L’immagine ad anelli, in certe posizioni di fuoco, mostra un disco di Airy più piccolo del normale, che può anche “invertirsi”, vale a dire diventare scuro.

(Obbiettivo Koristka 8* [64 ×] semiapocrom. + oculare Leitz 8).

210/222



Si tenga presente che la centrica, osservata con un normale oculare, appare assai piccola e pertanto le foto sono state ritagliate da una porzione piuttosto piccola del campo visuale. Una foto a tutto campo mostrerebbe solo dei puntini chiari, poco significativi.

LA COMA

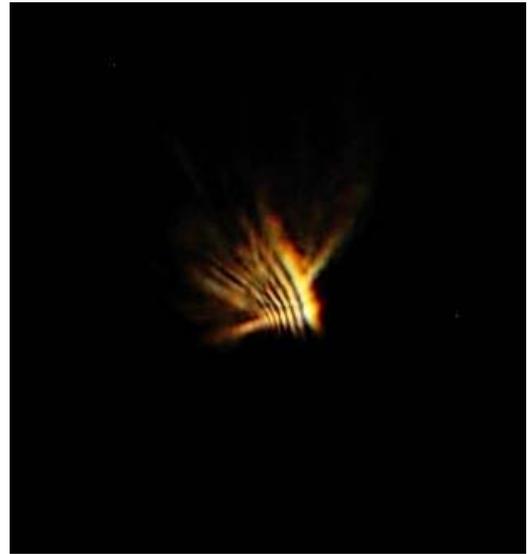
Si richiama qui quanto detto nell’art. n° 18 più volte citato, in particolare le pagg. 31 – 33 e le figg. 25 – 26.

— In asse (al centro del campo) o “coma asimmetrica”. Si ricordi quanto detto in quella sede: la presenza di coma “in asse” dipende quasi sempre da un’errata centratura di una o più lenti. Se l’obbiettivo prevede una “lente flottante” (vedi il manuale: “Problemi Tecnici della Microscopia Ottica”, Capp. 13.2.4 e 19.5.2) con i relativi fori di centratura, la correzione può

² Questa affermazione si basa sul fatto che, nel nostro esempio, la struttura delle varie centriche è la stessa, indipendentemente dalla loro luminosità. Ma l’occhio s’inganna facilmente su questo punto!

essere facile. Se le lenti fuori centro sono più di una, si ha la combinazione di due aberrazioni e la correzione è in genere impossibile. La figura risultante sarà complessa e di non facile interpretazione (fig. 27 dall'articolo citato).

(Fig. 27 dall'art. n° 18) — Figura complessa derivante da errata centratura di due lenti nello stesso obiettivo.



— Fuori asse (sui bordi del campo) o “coma simmetrica”.

Se le figure di coma sono disposte radialmente in modo simmetrico rispetto all'asse, ma sempre assenti al centro del campo, si tratta di un difetto di progetto che non ammette correzione da parte dell'utente. La loro lunghezza sarà più o meno proporzionale alla loro distanza dal centro del campo.

Anche le figure di coma variano di aspetto al variare della messa a fuoco. Riportiamo l'esempio della fig. 26 dall'art. 18 citato.

(Fig. 26 dall'art. n° 18) – Figure di coma in successive posizioni di messa a fuoco. Il centro del campo (l'asse) è in basso, fuori figura naturalmente. Attorno alle centriche si vedono degli aloni colorati, rossi nelle figure in alto, bluastrici nelle figure in basso: residuo di cromatica longitudinale.

Si noti che queste centriche sono state fortemente ingrandite; nell'osservazione visuale sono assai più piccole.

(Obiettivo acrom. 40 mal centrato + oculare Leitz Periplan 20 ×).

237-241



L'ASTIGMATISMO

— In asse (al centro del campo) o “astigmatismo asimmetrico”

In questo caso, si tratta di un errato allineamento (inclinazione) di qualche elemento ottico dell'obiettivo (lente), o dello strumento (filtro, prisma, lente).

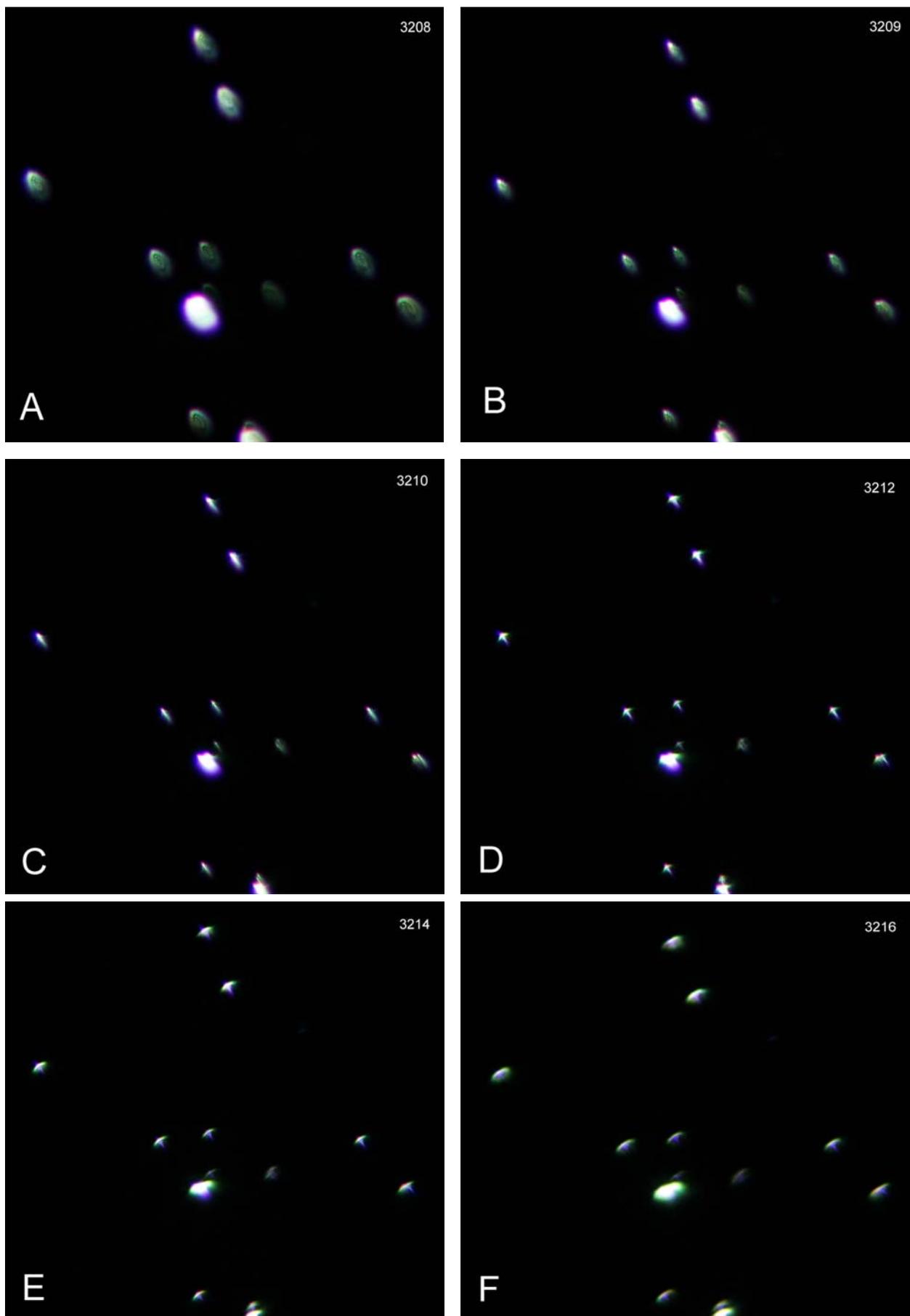


Fig. 13 – Astigmatismo, con focaline sagittali (A – C) e tangenziali (E – F), ma condite di coma.
Il centro del campo visuale si trova fuori figura, in basso a destra. Obb.10/0,20. L'oculare usato è un 20 ×.

Se il difetto è nell'obbiettivo, lo si dimostra confrontando l'immagine fornita da diversi obbiettivi simili: il difetto appare solo con un dato obbiettivo. Un intervento di correzione è quasi impossibile poiché le lenti dell'obbiettivo sono serrate ognuna in un barilotto metallico. Se il difetto dipende da qualche altra parte dello strumento, esso rimarrà dopo il cambio dell'obbiettivo.

— Fuori asse (sui bordi del campo) o “astigmatismo simmetrico”.

Se le focaline sono tutte iso-orientate (tutte dirette radialmente o tutte tangenzialmente per una data posizione di messa a fuoco e comunque assenti in asse, simmetricamente disposte attorno all'asse) si tratta di un difetto di progetto, con ben poche possibilità d'intervento³.

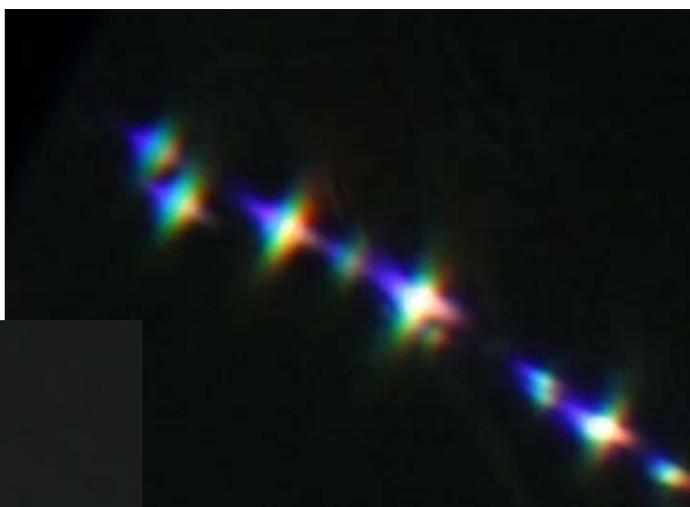
In genere, sia per quello simmetrico che per quello asimmetrico, l'astigmatismo è accompagnato da un certo grado di coma.

Nelle foto che precedono (fig. 13), un esempio reale. Fra le diverse foto, riprese in diverse posizioni di messa a fuoco, si noterà quella B o C, che contiene qualche focalina sagittale, ma è troppo larga per non richiamare una classica coda di coma, ed è troppo stretta per far pensare solo alla coma.

(Fig. 28) — Focaline astigmatiche sopra, in centro e sotto la posizione di miglior fuoco.

Il centro del campo è in basso a destra, fuori figura. La figura superiore, quindi, corrisponde alle focaline tangenziali; quella inferiore alle focaline radiali o “sagittali”. Quella di mezzo corrisponde alla posizione di miglior fuoco.

188/193/186



Senza un'accurata foceggiatura, quindi, l'astigmatismo può non essere notato. Si notino le bordature colorate (CVD).



Si noti anche che gli “anelli” della centrica normale sono invisibili: l'astigmatismo li nasconde.

Anche in questo caso, le figure sono state fortemente ingrandite.

Questa situazione viene da un obbiettivo di fama. Poiché si tratta di astigmatismo simmetrico, il difetto deriva dal progetto. (Obbiettivo Zeiss Oberkochen Neofluar 100/1,30 Oel + oculare Leitz 8 × ; successivo ingrandimento elettronico 6 ×).

Qui sopra, un'altra serie di foto riprese anch'esse dall'art. n° 18, altro caso reale di astigmatismo simmetrico.

³ Vedi l'art. n° 19: “La compensazione dell'astigmatismo e della coma”.

* * *

A questo punto, la conclusione sembra scontata: occorre qualche idea chiara, molta pazienza ed un bel po' d'esperienza. E magari una forte lampada.

Quando ci si è "fatto l'occhio", lo star test diviene la miglior radiografia di un obbiettivo.

Se poi si dispone anche del reticolo a righe parallele, rimangono pochi lati oscuri.

È ben vero che l'esperienza di un osservatore "consumato" è insostituibile. Più volte ho visto diagnosi precise stabilite sull'osservazione di un buon vecchio preparato, ben conosciuto. Ma, visto che esistono semplici esami obbiettivi, facilmente ripetibili, capaci anche di dare qualche misura numerica (per es., larghezza delle frange di cromatica), perché rinunciare ?

PS: per chi desiderasse ordinare uno o più star test ad un'industria capace di eseguire metallizzazioni sotto vuoto, occorre specificare:

- il tipo di supporto (vetrini porta-oggetti standard)
- l'alluminatura, che deve essere sottile, anche a costo di una trasparenza residua di 1 - 2 ‰ (0,001 - 0,002)
- nessuna preparazione di base ("grippaggio" in cromo o simili)
- nessuna protezione ("quarzatura" in silice, ecc.).