

LA FOCALIZZAZIONE NEL MICROSCOPIO OTTICO

L'OSSERVAZIONE VISUALE

Nel caso dell'osservazione visuale, l'operazione di focalizzazione ha per scopo di creare nell'occhio un'immagine nelle migliori condizioni di definizione; ciò si verifica quando l'immagine (di solito virtuale) prodotta dall'oculare viene convertita dai mezzi rifrangenti dell'occhio in un'immagine reale coincidente collo strato foto-sensibile della retina.

Nello stato fisiologicamente "normale" o "di riposo" dell'occhio, il muscolo ciliare del cristallino è rilassato; l'occhio è "non accomodato". Se l'occhio è emmetrope, cioè esente da difetti di rifrazione, in condizioni di non accomodazione esso è in linea di principio "focalizzato all'infinito", cioè la visione più nitida si ha per oggetti (od immagini virtuali) a distanza otticamente infinita ovvero, tenuto conto della focale e dell'apertura dell'occhio, ad una distanza superiore a qualche decina di metri.

Lo strumento dunque si pone come fine, per norma quasi universalmente accettata dai costruttori, di offrire all'occhio un'immagine virtuale a distanza infinita. Per questo fine, è previsto che l'immagine intermedia cada nel primo piano focale dell'oculare e che quest'ultimo quindi la coniughi "all'infinito".

Se l'occhio che osserva non è emmetrope, esso dovrà portare una lente correttiva (occhiali) che lo renda adatto alla visione "per lontano", senza accomodazione. Se l'occhio emmetrope accomoda, o quello ametropo¹ non è corretto da occhiali, la visione più nitida si otterrà alterando la messa a fuoco del microscopio nel senso di spostare l'immagine finale, da esso prodotta, rispetto alla condizione ideale sopra descritta di "immagine all'infinito".

Va da sé che gli occhiali con potenza cilindrica (per astigmatismo) vanno sempre portati mentre si usa il microscopio, specie se sono forti. Potendo scegliere, si useranno quelli "per lontano". Nessun organo del microscopio è in grado di correggere l'astigmatismo dell'osservatore.

Nel caso di occhio non emmetrope (ametropia sferica, senza astigmatismo) o accomodato, si è detto che la visione nitida si può ancora ottenere alterando la messa a fuoco. Infatti, ciò porta ad uno spostamento assiale dell'immagine intermedia in un senso o nell'altro; se tale immagine non cade più nel primo fuoco dell'oculare, il fascio prodotto da questo, e corrispondente ad ogni punto dell'oggetto, non sarà più parallelo ma potrà essere convergente (adatto ad un occhio ipermetrope) o divergente (adatto all'occhio miope).

Tale alterazione della posizione dell'immagine intermedia e finale porta ad una alterazione delle coniugate dell'obbiettivo e dell'oculare e ciò provoca:

- alterazione della parfocalità fra gli obbiettivi;
- alterazione dei rapporti di ingrandimento dell'obbiettivo e dell'oculare;
- alterazione degli "equivalenti micrometrici" degli obbiettivi², in misura difficilmente ripetibile;
- alterazione dello stato di correzione dell'obbiettivo, specie riguardo alla sferica; ciò non è trascurabile negli obbiettivi forti.

Per evitare questo occorre quindi portare gli eventuali "occhiali per lontano" e non accomodare l'occhio. Quest'ultima

¹ ametropo = non emmetrope = affetto da qualche difetto di metropia (convergenza).

² Si tratta dei valori di calibrazione i quali, per ogni combinazione obbiettivo-sistemi intermedi-oculare, indicano a quale lunghezza reale nel piano oggetto corrisponde un trattino del "micrometro oculare". Vedi sotto.

condizione richiede però molto senso critico e molto allenamento. Infatti una persona normale non sa controllare volontariamente l'accomodazione; questa dipende essenzialmente (a parte le condizioni patologiche) dalla posizione in cui il soggetto "colloca" l'oggetto che crede³ di osservare, e questa collocazione è legata a valutazioni essenzialmente psicologiche ed inconscie.

Costringere l'occhio a non accomodare si può ottenere sia con metodi psicologici (per es., convincersi che si sta osservando un paesaggio lontano attraverso un finestrino) sia fisiologici (guardare nel microscopio con un occhio solo mentre l'altro osserva un oggetto lontano, magari riflesso da uno specchio). Col tempo, tutto ciò può diventare abituale.

Ma un modo più sicuro per evitare l'accomodazione si basa su questo principio: l'occhio normale non può mettere a fuoco oltre l'infinito, il che otticamente equivale a dire che non può far convergere esattamente sulla retina un fascio che è già convergente. Quando gli si presenta un fascio convergente (capace di concorrere in un'immagine reale) esso sarà portato a rilassarsi del tutto per tentare di focalizzare. Se, operando sulla messa a fuoco dello strumento, si rende il fascio emergente dell'oculare sempre meno convergente fino al parallelismo, si dovrà vedere l'immagine a fuoco appena il fascio diviene parallelo, e non prima, cioè nelle condizioni ideali. Questo si ottiene partendo dalla foceggiatura "lunga", cioè nelle condizioni di distanza eccessiva fra oggetto ed obbiettivo: l'immagine intermedia è più bassa del previsto e si pone prima del primo fuoco dell'oculare; in queste condizioni, ad ogni punto dell'oggetto corrisponde un fascio convergente dopo l'oculare. Poi si abbassa l'obbiettivo (o si alza il tavolino) lentamente, fino al momento di massima nitidezza e ci si ferma. Questo dovrebbe corrispondere al massimo rilassamento dell'occhio.

Un presbite, avendo perduto in parte o totalmente il potere di accomodazione, si trova facilitato in questo compito.

Il nemico peggiore al rilassamento dell'accomodazione è l'"**effetto del tubo**": chi poggia l'occhio sull'oculare si pone istintivamente nella condizione di osservare l'interno del tubo oppure il vetrino che si trova all'estremità inferiore del tubo. Ciò stimola una forte accomodazione che stanca rapidamente l'occhio e può provocare cefalea e nausea. Occorre molto autocontrollo per evitare questo deleterio fenomeno.

Si ricordi poi che, in condizioni normali, l'accomodazione è legata all'osservazione di oggetti vicini: in queste condizioni gli assi ottici dei due oculari convergono verso l'oggetto: accomodazione e convergenza sono fisiologicamente legati, in modo involontario. Nel caso di osservazione con tubo bioculare (microscopi non stereoscopici), il costruttore, fedele al principio dell'immagine all'infinito, predispose il tubo in modo che gli assi dei due oculari siano paralleli⁴. Ciò corrisponde appunto all'osservazione di oggetto a grande distanza. Ma se l'osservatore accomoda, per i meccanismi involontari sopra citati, esso convergerà anche, cioè gli assi dei suoi occhi non saranno più paralleli fra loro né paralleli a quelli degli oculari. In questo caso è impossibile la fusione psicologica delle due immagini, e cioè si "vede doppio". In pratica, l'osservatore utilizza una sola immagine ed ignora l'altra, come nei casi di strabismo.

Gli oculari con reticolo (oculari regolabili o "micrometrici" o "di misura")

In molti casi, l'oculare contiene un disco di vetro su cui è inciso un "reticolo", cioè un sistema di linee opache su fondo trasparente, a mo' di graduazione.

Si può trattare di una graduazione di linee equidistanti (spesso 10 mm divisi in 100 parti) che permette misure lineari sull'oggetto, cioè di un "micrometro oculare"; si può trattare di una quadrettatura che facilita il conteggio di particelle; oppure di profili per oggetti

³ Diciamo "l'oggetto che crede di vedere" pensando a chi osserva un'immagine virtuale attraverso un oculare.

⁴ In passato, qualche costruttore ha realizzato microscopi non stereoscopici con oculari ad assi convergenti, ma non ha avuto successo poiché la convergenza degli occhi trascina con sé l'accomodazione e quindi viene meno il principio dell'immagine finale a distanza infinita.

speciali, maschere di confronto, dischetti di diametro crescente, ecc. Oppure vi sarà un rettangolo per l'inquadratura del formato fotografico, o un dischetto corrispondente all'area sensibile dell'esposimetro, una croce per la focalizzazione o per indicare le direzioni principali dei polarizzatori, ecc.

In ogni caso, questi disegni si dovrebbero sempre trovare nella posizione teorica dell'immagine intermedia, cioè nel piano focale anteriore dell'oculare. Se l'oculare avesse una struttura rigida, allora esso produrrebbe sempre un'immagine del reticolo all'infinito. Ma allora tale immagine sarebbe visibile solo ad un occhio emmetrope non accomodato. Per compensare piccole ametropie sferiche (per valori superiori a circa ± 2 diottrie è meglio portare gli occhiali correttivi) i costruttori montano la lente oculare⁵ in un supporto a vite che permette di spostarla assialmente rispetto al reticolo, che rimane fisso nella posizione nominale dell'immagine intermedia⁶. L'immagine di ogni punto del reticolo sarà allora costituita da un fascio convergente, divergente o parallelo, dipende dalla rotazione della lente oculare.

In questo modo, qualunque errore di accomodazione od ametropia sferica dell'osservatore può essere compensato da uno spostamento della lente oculare. Naturalmente ciò non evita la fatica e gli errori di accomodazione dell'occhio, ma almeno questi risulteranno neutralizzati dalla regolazione della lente oculare invece che da spostamenti dell'obbiettivo come nel caso sopra citato dell'errore di messa a fuoco. Ma con un vantaggio: quando l'osservatore vede a fuoco il reticolo, sia pure a spese di un'inutile accomodazione, e simultaneamente vede a fuoco l'oggetto, si può essere certi che, entro i limiti delle sue capacità di valutazione, l'immagine intermedia giace al posto giusto e l'obbiettivo lavora con coniugate normali.

La regolazione della lente oculare permette in genere spostamenti dell'immagine finale corrispondenti a $\pm 3-4 D^7$ di accomodazione dell'occhio, ma generalmente questa regolazione non è accompagnata da una scala graduata in diottrie.

Anche per gli oculari a lente oculare regolabile, può aiutare ad evitare l'accomodazione del cristallino il metodo della "focheggiatura lunga": si svita la montatura della lente oculare, in modo da aumentare la sua distanza dal reticolo; poi, guardando nell'oculare⁸, si abbassa lentamente la lente finché si vede nitido il reticolo. In queste condizioni l'accomodazione dovrebbe essere rilassata.

A questo punto, si metta a fuoco l'oggetto senza più toccare l'oculare, sempre fissando il reticolo. Un errore di messa a fuoco (in particolare una focheggiatura "corta") non riesce più a stimolare l'accomodazione poiché l'occhio è bloccato sull'osservazione del reticolo.

I costruttori, come si è detto, non sempre pongono una graduazione sulla regolazione degli oculari micrometrici, ma in genere vi è almeno indicata la posizione di "0" per la quale il reticolo si dovrebbe trovare nel primo fuoco dell'oculare e l'immagine di esso all'infinito.

Non si abbia fiducia eccessiva però nella precisione di questa posizione di riferimento. Se la precisione fosse garantita, basterebbe porre la regolazione in posizione "0" perché un occhio emmetrope (o ametropo corretto da occhiali "per lontano") vedesse nitido il reticolo senza accomodare. È sempre meglio ricorrere alla "focheggiatura lunga".

I tubi regolabili

In certi casi, un tubo monoculare può avere una lunghezza regolabile per vari scopi (correzione della sferica dell'obbiettivo, piccole variazioni di ingrandimento, ecc.). Più spesso sono regolabili in lunghezza uno od entrambi i tubi di una testata bioculare. Stiamo parlando

⁵ è la lente superiore di qualunque oculare.

⁶ Vedi il manuale "Problemi tecnici della microscopia...", Cap. 12.1.

⁷ La lettera D (Diottria) indica l'unità di misura della "potenza" o potere convergente (P) dell'occhio o di una lente. Se la focale di una lente (f) è espressa in metri e la potenza P in diottrie, si ha: $P = 1/f$.

⁸ Il microscopio dovrebbe essere acceso, con luminosità moderata, ma su un campo vuoto. Infatti, la presenza di un struttura contrastata leggermente sfuocata potrebbe "distrarre" l'occhio dalla focalizzazione all'infinito.

ovviamente di microscopi non stereoscopici (per i quali, vedi oltre).

Tale regolazione della lunghezza del tubo, cioè della posizione assiale dell'oculare, fa variare la distanza fra immagine intermedia nominale ed oculare, cioè porta ad uno spostamento dell'immagine finale, come una normale focalizzazione. Ciò permette di avere una focalizzazione separata per i due oculari e compensare quindi eventuali differenze nella rifrazione fra i due occhi (anisometropie).

Nel caso che uno solo dei tubi porta-oculare sia regolabile, si mette prima a fuoco l'oggetto dal lato dell'oculare fisso; poi, senza più toccare la messa a fuoco, si ruota la ghiera del tubo regolabile per mettere a fuoco anche da quel lato. Naturalmente, per evitare l'accomodazione dell'occhio, anche per il tubo regolabile è utile il metodo della "focheggiatura lunga" (partire col tubo svitato = oculare in posizione alta).

I tubi regolabili portano in genere una graduazione che permette di ritrovare a distanza di tempo una data lunghezza impostata per il tubo. Tale graduazione ha solo un valore relativo poiché la variazione di convergenza corrispondente ad un dato tratto di essa dipende dalla focale dell'oculare.

Si può qui ripetere quanto detto a proposito degli oculari regolabili: la scala graduata dei tubi presenta in genere una posizione di "0" la quale, nominalmente, corrisponde alla posizione corretta per cui l'oculare si trova nella giusta posizione rispetto all'immagine intermedia.

Un osservatore senza anisometropia⁹ né ametropie dovrebbe quindi tenere sempre in posizione zero il tubo regolabile (o entrambi se entrambi sono regolabili).

La posizione 0 dei tubi regolabili indica anche la posizione nominale per la quale la distanza obiettivo-oculare, e quindi la coniugata immagine dell'obiettivo, è corretta. Si è già detto sopra quali sono le conseguenze di una alterazione del corretto fuoco, cioè della posizione dell'immagine intermedia rispetto l'oculare. Analoghe sono le conseguenze di una alterazione della lunghezza del tubo, cioè della distanza obiettivo-oculare. Ed i due errori si possono sommare.

La distanza inter-pupillare

La distanza fra gli assi (paralleli fra loro) dei due oculari di un tubo bioculare (non stereoscopico) deve essere pari alla distanza fra gli assi degli occhi dell'osservatore; si suppone che l'osservatore "guardi all'infinito" (assi ottici paralleli).

La variazione della distanza fra gli oculari viene ottenuta con vari metodi.

Quando i due tubi porta-oculari si muovono attorno ad un asse comune di rotazione, parallelo agli assi degli oculari ed equidistante da essi (sistema "Siedentopf", Jena, Zeiss, ecc.), la variazione della distanza pupillare non altera la lunghezza ottica dei tubi, quindi non altera la coniugata immagine dell'obiettivo né la focalizzazione.

In altri casi, la costanza della lunghezza ottica del tubo al variare della distanza pupillare viene ottenuta con un massiccio gioco di slitte inclinate di 45° (Leitz) o con mezzi ottici (sistema Telan, Wild).

In altri casi (Zeiss, Nikon, PZO, ecc. di vecchia produzione), gli oculari si muovono a mezzo di una slitta trasversale, perpendicolare all'asse degli oculari, in modo che una variazione della loro distanza reciproca provoca una variazione della lunghezza ottica del tubo, e già è noto quali ne sono le conseguenze.

Per evitare queste ultime, certi costruttori possono rendere regolabili entrambi i tubi porta-oculari ed incidere sulle relative ghiera di regolazione una scala che riporta i valori in mm della distanza interpupillare. In questo modo, dopo che l'osservatore ha regolato la distanza pupillare, legge il valore corrispondente sull'apposita scala e la riporta sulle scale dei due tubi porta-oculare in modo da compensare la variazione della lunghezza del tubo.

⁹ Anisometropia = differenza di potere convergente fra i due occhi.

Inutile dire che questa manovra è complessa, va ripetuta ogni volta che lo strumento passa da un osservatore all'altro, e normalmente viene ignorata.

Nell'osservazione visuale, le **norme per la buona focalizzazione** si possono dunque così riassumere :

- Portare gli eventuali occhiali “per lontano”.
- Rilassare l'accomodazione del cristallino e, a questo fine, cominciare l'osservazione con la “focheggiatura lunga”.
- Nel caso di tubi ed oculari regolabili, mettere le ghiera di regolazione in posizione 0.
- Se, assieme all'oggetto, appare nel campo visuale un qualunque reticolo, cominciare col mettere a fuoco quest'ultimo, sempre col metodo della “focheggiatura lunga” della lente oculare (partire con la ghiera tutta svitata). Poi, agire sulla micrometrica.

LA FOTOGRAFIA¹⁰

Nel caso dei sistemi foto-micrografici, la messa a fuoco può essere concepita come l'operazione che tende a far coincidere il piano dell'immagine finale (reale) col piano dell'emulsione fotografica o del sensore digitale. Ignoriamo in questa sede il problema dell'adeguamento del campo fotografato al campo massimo fornito dal microscopio (vedi il manuale “Problemi tecnici della microscopia...”, Cap. 30.8.2, nonché l'articolo “L'utilità del “Grande campo” ...”).

Nei sistemi più economici, si adopera una fotocamera commerciale privata dell'obbiettivo e collegata al microscopio tramite opportuni raccordi (Fig. 1). Questi raccordi non contengono parti ottiche e pongono l'emulsione o direttamente sopra l'obbiettivo (fig. 1 a sinistra) oppure sopra l'oculare (a destra).

Nel primo caso, se l'obbiettivo richiede un oculare “compensatore”, non è possibile mettere in opera la “compensazione” dell'aberrazione cromatica laterale¹¹. Non ci dilunghiamo su questi sistemi che collegano la fotocamera direttamente sopra l'obbiettivo (fig. 1, a sinistra) poiché, a parte l'impossibilità di attuare la “compensazione” della cromatica laterale, si deve spesso alterare troppo la focalizzazione. Infatti, il campo immagine degli obbiettivi raramente supera 25 mm, mentre il formato fotografico più piccolo (24 × 36) ha una diagonale di 43 mm¹². Di conseguenza, con una focalizzazione corretta, si sfrutta l'immagine intermedia oltre il campo nominale. Se si altera la focalizzazione, l'immagine intermedia può diventare più grande (aumentando la distanza obbiettivo-emulsione), ma le coniugate dell'obbiettivo sono alterate, con tutte le conseguenze già citate (vedi anche il manuale “Problemi tecnici della microscopia...”, Cap. 10).

Nel secondo caso, vi è almeno la possibilità di scegliere l'oculare più adatto, ma la distanza oculare-emulsione sarà in genere modesta (10 – 20 cm); ciò obbliga ancora ad alterare la focalizzazione. Il fuoco può essere corretto solo se si usano oculari speciali (“proiettivi”) concepiti per formare un'immagine reale a distanza opportuna senza alterare la messa a fuoco, cioè le coniugate dell'obbiettivo.

In ogni caso, si tratta di ripieghi.

Obiezione comuni ai due casi:

per l'inquadratura e la **messa a fuoco** si adopera il “mirino” già contenuto nella fotocamera, di cui esistono molte varianti ma che, comunque, deve essere del tipo “reflex”

¹⁰ Vedi il manuale “Problemi tecnici della microscopia...”, Cap. 30.8.

¹¹ Vedi il manuale “Problemi tecnici della microscopia...”, Cap. 19.3.1.

¹² In realtà, in molte fotocamere digitali il sensore CCD è molto più piccolo e quindi il problema del formato è assai più facile da risolvere.

(con gli altri si inquadra lo spazio esterno del microscopio!). In genere però i mirini fotografici, che siano del tipo a “stigmometro” o a “microprismi” o a vetro smerigliato, funzionano bene con aperture superiori a $f\# = 1/4$. A valle dell’obbiettivo o dell’oculare, l’apertura del microscopio è al massimo $f\# = 1/40$ e la messa a fuoco è quindi assai difficile: lo stigmometro appare nero per metà, i microprismi o la “grana” dello smerigliato appaiono fortemente contrastati, ecc.

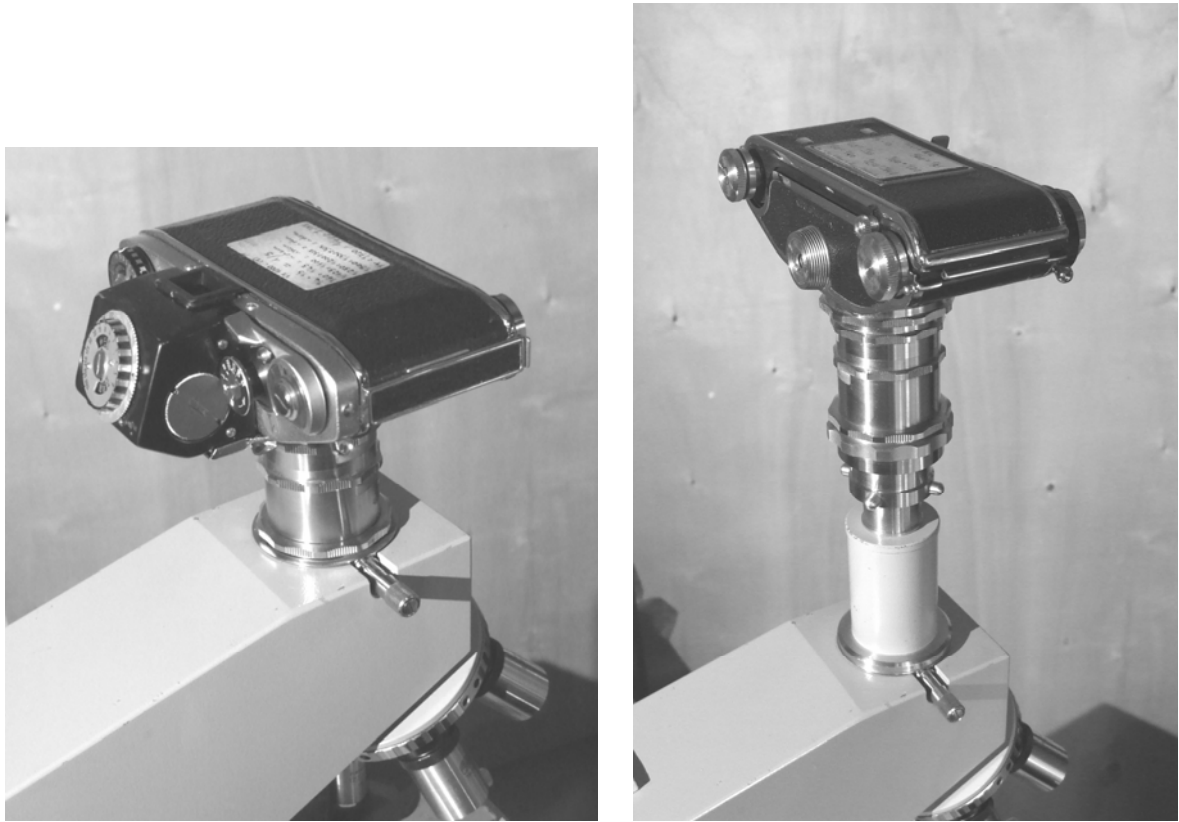


Fig. 1 – A destra: semplice raccordo fra fotocamera reflex e tubo del microscopio (munito di oculare). Il raccordo è solo un sostegno per la fotocamera e non contiene parti ottiche. Se l’oculare è normale, si deve alterare la focalizzazione. A sinistra, collegamento diretto, senza oculare.

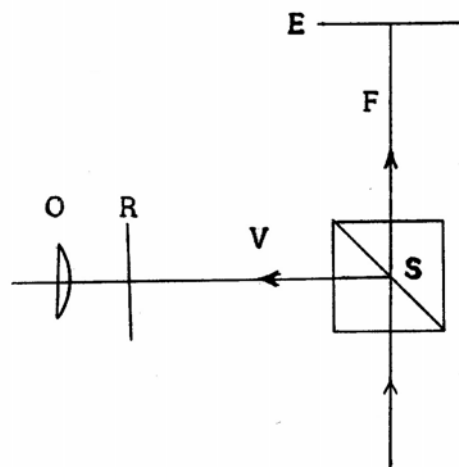


Fig. 2 – Schema generico di sistema foto-micrografico a doppio cammino.

In altri sistemi, del tipo “a soffietto”, utilizzati un tempo per i grandi formati, l’immagine viene proiettata dapprima su un vetro smerigliato, e qui messa a fuoco con l’aiuto di una lente

d'ingrandimento; poi si sostituisce il vetro con uno chassis contenente la lastra. A volte (Leitz), questi sistemi funzionano con uno specchio ribaltabile, cioè col principio "reflex", e lo schermo smerigliato è fisso. Qui, anche con normali oculari, la messa a fuoco sullo smerigliato può essere molto vicina a quella ideale poiché la distanza oculare-emulsione è elevata.

In tutti gli altri sistemi, si può riconoscere uno schema di massima come quello di fig. 2 : il fascio proveniente dall'oculare o dal proiettivo o direttamente dall'obbiettivo attraversa una superficie semiriflettente S e qui si sdoppia in due fasci geometricamente identici, di cui uno (F) viene inviato verso l'emulsione E, e l'altro (V) verso un sistema di osservazione (O), che può essere un normale oculare o un piccolo sistema ad hoc.

In luogo del semiriflettente vi può essere uno specchio ribaltabile o un sistema di prismi intercambiabili per cui l'immagine può venir commutata in alternativa sul canale F o sul V o in entrambi.

Nel canale V deve allora esistere un dispositivo che permette di individuare quella posizione delle viti di messa a fuoco per cui l'immagine (reale) nel canale F coincide col piano dell'emulsione ivi montata.

Essenzialmente, tutti i sistemi portano un piano di riferimento (R) contenente di solito un reticolo come sotto descritto, così disposto che, quando l'immagine del canale V coincide con esso, l'immagine in F coincide con l'emulsione E.

La messa a fuoco consiste dunque nel controllare la coincidenza dell'immagine (reale) nel canale V col piano R.

L'immagine in V è reale, e pertanto è assimilabile ad un'immagine intermedia e può essere osservata attraverso un oculare o un sistema convergente simile ad un oculare (O).

In certi casi, lo schema di fig. 2 è posto sopra l'oculare. Una opportuna lente convergente ("lente di camera") riporta l'immagine finale prodotta dall'oculare (virtuale, a distanza infinita) nel piano di R e di E.

In altri casi, specie nei tipi recenti o in grandi modelli, è più diffuso uno schema per cui il semiriflettente S è posto prima dell'oculare e le due immagini in F e V sono effettivamente delle immagini intermedie.

Un esempio del primo caso è in fig. 3: il sistema S + E + R + O è piazzato sopra l'oculare, in cima ad un tubo verticale, come semplice accessorio (microcamera). Nel secondo caso, il semiriflettente è posto dentro il tubo e su questo si troveranno due "uscite", una per un tubo di osservazione, mono- o bi-oculare, di solito inclinato, l'altra per il porta-pellicola (in genere con asse verticale); quest'ultimo può esser costituito da un normale tubo che porta un normale oculare e di solito una fotocamera commerciale (fig. 4) oppure da un raccordo speciale che porta una fotocamera ad hoc e contiene un'ottica speciale (fig. 5).

Fig. 3 – Esempio di microcamera manuale (WILD Mka 1), applicata su un tubo diritto provvisto di un oculare normale. La microcamera contiene una "lente di camera" con fattore 0,5 ×, che consente di coprire il formato 24 × 36 mm con un oculare 6 × o 10 ×.



Questa soluzione garantisce meglio di altre la parfocalità fra i canali foto e visione ma sta scomparendo dal mercato, purtroppo.

Verso destra è rivolto un “telescopio di messa a fuoco” con reticolo di riferimento, come in fig. 2, che consente una normale visione dell’immagine, l’inquadramento, la messa a fuoco, ecc. Il corpo centrale della microcamera contiene una fotocellula per la misura dell’esposizione.

In alto, uno chassis per pellicole 6×4 , 6×6 e 6×9 (rullo 120).

Piegato verso il basso un “filo-scatto” flessibile che evita di toccare la microcamera per lo scatto. L’otturatore è del tipo “centrale”, non a tendina, per cui il suo baricentro non si sposta durante lo scatto e non si generano oscillazioni nel sistema.

Fig. 4 – “Foto-tubo” o “tritubo” con due oculari inclinati per la visione ed un tubo diritto per la fotografia. Sopra, una fotocamera commerciale. In questo caso si possono ancora usare oculari normali nel canale foto. Il corpo centrale contiene la lente di camera, la fotocellula, l’otturatore, filtri, ecc.

Microcamera automatica WILD Mka 5 su stativo M 20.



Ma il principio non cambia: attraverso un sistema convergente O (in genere, un normale oculare) si osserva il piano R e l’immagine in esso esistente (immagine intermedia reale).

Ora, in questi ultimi casi (figg. 3, 4 e 5), come si esegue **la messa a fuoco?**

Fig. 5 – Raccordo speciale per fotocamera speciale. Non esiste un tubo verticale normale né un oculare. Questa è una soluzione che si va diffondendo sul mercato ma non sempre ingrandisce nella misura migliore l’immagine intermedia e non sempre garantisce la parfocalità fra i canali foto-visione.

Si tratta di avere un metodo per verificare la complanarità di R e dell’immagine reale presente nel canale V. In linea di principio, R potrebbe consistere fisicamente nell’orlo del diaframma di campo visivo contenuto nell’oculare, ma in genere nel piano R si trova un reticolo simile a quello degli oculari micrometrici (vedi sopra) in forma di croce, cerchi o simili, circondati da uno o più rettangoli. Il cerchietto indica in genere la porzione dell’immagine che va a cadere sulla superficie sensibile dell’esposimetro; il rettangolo delimita la porzione dell’immagine effettivamente coperta dal formato fotografico. Ma in ogni caso il reticolo rappresenta quel piano che deve coincidere coll’immagine reale.

Quando nel canale V si trova un tubo



bioculare (fig. 4 e 5), spesso il reticolo è sistemato all'interno di un oculare del tipo regolabile. Ovviamente, in questo caso vale quanto si è detto sopra: si ruota la ghiera della lente oculare, partendo dalla posizione più alta, in modo da avvicinare progressivamente la lente al reticolo finché quest'ultimo appare nitido; per un occhio emmetrope rilassato (o ametropo corretto da occhiali "per lontano"), in queste condizioni, la graduazione della ghiera dovrebbe trovarsi in posizione "0".

Se l'oculare regolabile si trova su una testata bioculare con un solo tubo regolabile, è ovvio che l'oculare regolabile deve trovarsi nel tubo fisso, per eliminare una causa di errore. Se entrambi i tubi sono regolabili, occorrerà curare sempre che la ghiera del tubo in cui si trova il reticolo sia in posizione "0".

Si tratta ora di giudicare quando l'immagine in V si trova nello stesso piano del reticolo R.

Per gli ingrandimenti forti, per via delle piccole dimensioni della pupilla d'uscita del sistema, può valere l'apprezzamento soggettivo di chi osserva i due piani sovrapposti ed ingranditi dal sistema O. Ma a bassi ingrandimenti la pupilla d'uscita è più grande di quella dell'occhio, il quale funge da diaframma ed aumenta la profondità di fuoco lato V e riduce quindi la capacità di apprezzamento dell'occhio.

Per facilitarne il compito, certi costruttori (Jena, Leitz) offrono un piccolo telescopio, cioè un sistema afocale con ingrandimenti modesti (3 o 4 ×) messo a fuoco rigidamente "all'infinito"; esso permette di apprezzare meglio la complanarità dell'immagine dell'oggetto con il reticolo in quanto mostra ingranditi gli effetti di una sfocatura. Esso evita la diaframmatatura da parte della pupilla dell'occhio poiché riduce il diametro della pupilla d'uscita del microscopio, di cui fornisce un'immagine impiccolita.

In assenza di ciò si può usare il metodo "della parallasse": si oscilla lateralmente il capo finché è consentito, prima che scompaia l'immagine dell'oggetto. Se tale immagine è complanare con R non si nota nulla, il fuoco è corretto; in caso contrario, cioè di errata messa a fuoco, si vedrà l'immagine dell'oggetto spostarsi lateralmente rispetto ad R o viceversa (vedi il manuale "Problemi tecnici della microscopia...", Cap. 30.8.3).

MICROSCOPI STEREOSCOPICI O "BINOCULARI"

Finora si è supposto tacitamente di parlare di microscopi normali, cioè forniti di un solo obbiettivo in cui le (eventuali) due immagini inviate ai due oculari sono geometricamente identiche perché ottenute tramite una superficie piana semiriflettente per sdoppiamento di un unico fascio.

Nei microscopi stereoscopici, invece, vi sono due microscopi composti indipendenti, con due obbiettivi (l'obbiettivo, come vedremo, può essere apparentemente unico ma si usano due zone separate di esso) e due assi ottici non paralleli. I due microscopi quindi osservano l'oggetto da diversa angolatura e le due immagini non sono identiche. Da ciò nasce la sensazione di rilievo, cioè la visione stereoscopica (a tre dimensioni).

Per quanto riguarda la correzione delle anisometropie, si ricorre ancora a tubi con lunghezza regolabile (uno o entrambi i tubi porta-oculare) e si può ripetere quanto già detto sull'argomento.

Quello che si è detto finora rimane valido anche riguardo a:

- Problemi di accomodazione e metodi per evitarla ("focheggiatura lunga").
- Necessità di portare gli occhiali correttivi "per lontano".
- Necessità di mettere in posizione 0 le ghiera di regolazione degli oculari micrometrici e dei tubi regolabili.
- Foccheggiatura preventiva di eventuali reticoli, sempre con la "focheggiatura lunga".

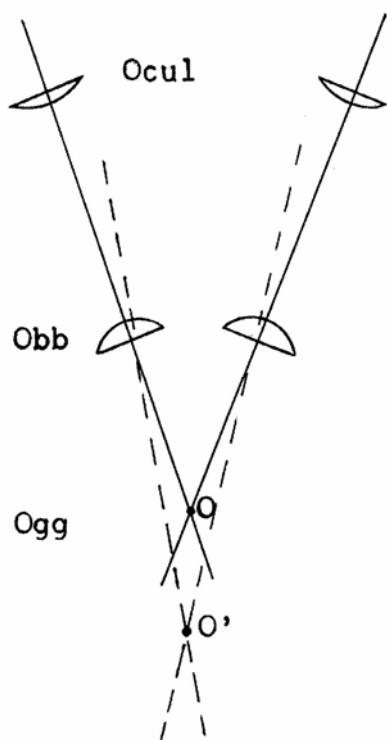


Fig. 6

Ma le cose sono più complicate: sia schematizzato in fig. 6 un microscopio stereoscopico con i due obbiettivi e relativi assi convergenti in un punto comune (O) che è anche il punto di miglior fuoco (sarà cura del costruttore provvedere affinché questa coincidenza si verifichi). In altre parole, il costruttore fa in modo che l'immagine intermedia dell'oggetto posto in O si formi nel primo fuoco degli oculari e l'immagine finale si formi all'infinito.

Ma immaginiamo che l'oggetto sia sfocato, per es. troppo in basso, in O'. Vale quanto detto sopra (accomodazione insufficiente, alterazione delle coniugate dell'obbiettivo e dell'oculare, ecc.) ma con questo in più: l'oggetto si sposta verso destra per uno dei due sistemi e verso sinistra per l'altro. Anche se l'accomodazione consente di correggere il cattivo fuoco, le due immagini risulteranno diversamente spostate rispetto al campo visivo, in direzione trasversale. L'osservatore può avere difficoltà a "fondere", cioè vede doppio.

Vi è dunque un motivo in più per curare la messa a fuoco. Ma non è finita.

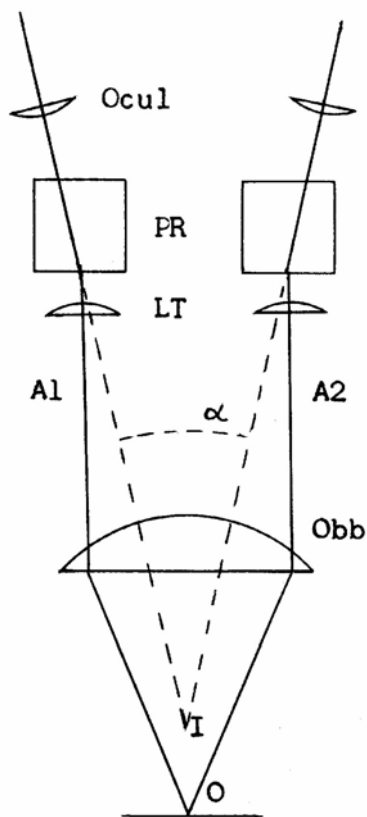


Fig. 7

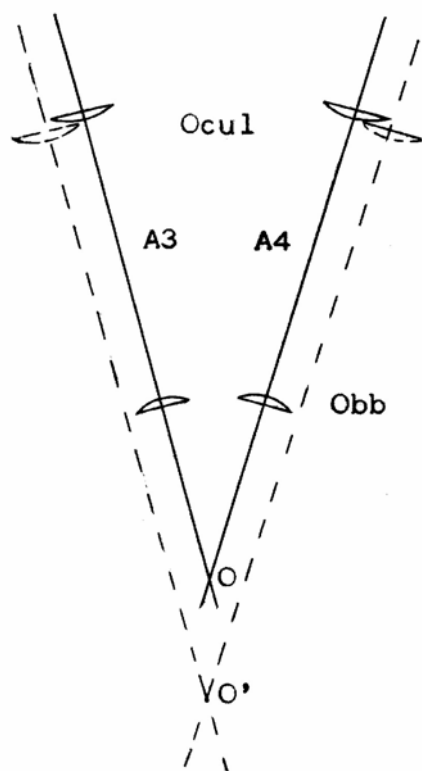
Consideriamo uno dei due schemi di base dei microscopi stereoscopici, quello chiamato "ad obbiettivo principale comune" (CMO) (fig. 7). In esso, l'oggetto O sta nel primo fuoco di un obbiettivo di grandi dimensioni il quale ne dà un'immagine all'infinito.

Un diaframma ricavato da questo obbiettivo dà due fasci parziali con gli assi paralleli fra loro (A1 ed A2). In questo tratto sono situati in genere i sistemi per il cambiamento dell'ingrandimento.

Sopra, si trovano in genere le lenti di tubo (LT)¹³, il sistema dei prismi raddrizzanti (PR) e gli oculari. Per variare la distanza interpupillare si fanno spesso ruotare i tubi porta-oculari, solidamente coi prismi, attorno agli assi ottici A1 ed A2, che sono paralleli fra loro. Poiché in molti modelli i tubi porta-oculari sono inclinati rispetto agli assi A1 - A2, si ha con questa rotazione una variazione della distanza fra gli oculari, cioè la regolazione della distanza interpupillare.

Il punto di miglior fuoco O non si sposta, ma il

¹³ con funzione identica a quella delle "lenti di tubo" che vanno accoppiate agli obbiettivi "a seconda coniugata infinita" nei microscopi non stereoscopici.



punto di incontro degli assi degli oculari (I) si sposta, e di parecchio. In casi limite (distanza pupillare al valor minimo) gli assi dei due oculari possono divenire paralleli ed anche divergenti, ed in questo caso si ostacola la fusione psicologica delle due immagini. Non si ha spostamento di nessuna delle due immagini rispetto al campo visivo, ma cambia l'angolo di convergenza degli oculari e degli occhi. Questo non è fisiologico, anche se viene in genere tollerato.

Viene tollerata anche la lieve rotazione in senso opposto delle due immagini attorno al loro centro, rotazione che si verifica variando la distanza pupillare, e che simula una cicloforia¹⁴. In altri casi, l'asse di rotazione dei tubi porta-oculari è inclinato (il prisma che devia l'asse ottico è fisso) e la regolazione pupillare fa spostare gli assi degli oculari parallelamente a sé stessi.

Fig. 8

In ogni caso, la regolazione della distanza pupillare nei microscopi stereoscopici non varia mai la lunghezza dei tubi e non vi sono fenomeni di variazione delle coniugate; il problema nasce solo dalla eventuale convergenza variabile degli assi ottici.

Le cose sono meno gravi negli strumenti costruiti secondo lo schema di Greenough (nella fig 8 non è indicato il sistema dei prismi raddrizzanti posti sotto gli oculari poiché di solito tali prismi spostano l'asse ottico parallelamente a sé stesso senza variane la direzione).

Per regolare la distanza interpupillare, i tubi porta-oculari si spostano, solidariamente ai prismi raddrizzanti, parallelamente a se stessi, mentre sono ruotati attorno agli assi ottici degli obiettivi (A3 ed A4 in fig. 8); se fra i prismi raddrizzanti e gli obiettivi si trovano altri prismi che deviano l'asse dell'obiettivo, di solito di 45° rispetto alla verticale, questo non importa per il nostro discorso.

Gli assi degli obiettivi dunque (A3 ed A4), non sono paralleli, come accadeva nel caso precedente, ma rimane il fatto che gli oculari si spostano parallelamente a sé stessi ed il loro punto di incontro (O') si sposta, sia pure di poco, rispetto alla posizione originale O; per l'esattezza, la distanza fra O ed O' è pari alla variazione della distanza pupillare divisa per la tangente dell'angolo formato dagli assi ottici dei due oculari.

Le due immagini non si spostano rispetto ai campi visuali poiché non si sposta il punto di miglior fuoco O (l'asse degli obiettivi non si sposta); neppure esse ruotano attorno al loro centro, sempre perché gli oculari si spostano parallelamente a sé stessi.

In ogni caso, in un microscopio stereoscopico gli occhi guardano verso un punto comune (I in fig. 7 ed O' in fig. 8) la cui posizione dipende dalla distanza pupillare, ed i loro assi formano fra loro un angolo che, nel caso di fig. 6, è assai variabile in relazione alla focalizzazione. Inoltre, mentre la posizione di questo punto comune è variabile, la posizione dell'immagine finale è nominalmente all'infinito, e varia solo con la messa a fuoco.

Solo la grande capacità di adattamento del nostro sistema sensoriale e nervoso ci consente di "vedere" senza fatica in condizioni così mutevoli. Del resto, sono frequenti i casi di

¹⁴ Anomala rotazione di uno o entrambi i globi oculari attorno al loro asse visuale.

insofferenza all'uso del microscopio stereoscopico.

Concludendo, nel microscopio stereoscopico si hanno gli stessi problemi di focalizzazione dei microscopi normali, ma non varia mai il fuoco durante la regolazione della distanza pupillare.

La fotografia con lo stereoscopico

In certi casi, è possibile fotografare al microscopio stereoscopico entrambe le immagini date dai due canali, per poterle poi osservare con un comune stereoscopio. Ma in genere si fotografa su uno solo dei canali ignorando l'altro. Non vi sono quindi problemi di convergenza degli assi, ecc.

I problemi della focalizzazione sono quindi gli stessi di quelli discussi a proposito dei microscopi mono-obiettivo.

Esistono anche sistemi tri-oculari con un tubo binoculare normale più un "canale" verticale per la fotografia. Quest'ultimo può essere indipendente, intermedio a quelli per la visione, per cui è possibile l'osservazione binoculare simultaneamente alla fotografia; ma più spesso un gioco di specchi o prismi rinvia in parte o totalmente nel canale foto il fascio di uno dei canali visione, per cui l'osservazione è possibile solo con un occhio. Se vi è un semiriflettente, il canale foto può ancora servire alla visione. Non c'è regola, nel senso che sono molte le soluzioni adottate dai vari costruttori.

In certi casi, il canale foto può possedere un semi-riflettente ed un proprio "mirino" come in fig. 2 ed il canale usato per la visione, se c'è, serve solo per l'orientamento. E vale quanto già detto nel paragrafo precedente "LA FOTOGRAFIA".

In altri casi, il canale foto non possiede un proprio mirino (oppure contempla una fotocamera commerciale col relativo mirino fotografico, di cui si sono visti i limiti). In questi casi l'inquadratura e la messa a fuoco si possono eseguire attraverso il canale visione, che dovrà contenere un reticolo con un rettangolo per la delimitazione del formato ed una serie di linee al centro per la focalizzazione. Il reticolo sarà in genere contenuto all'interno di un oculare regolabile.

Qui valgono le solite raccomandazioni:

--- Mettere prima a fuoco il reticolo, partendo dalla posizione "tutta estratta" della lente oculare.

— Mettere a zero la eventuale ghiera a vite del tubo porta-oculari regolabile.

— Mettere a fuoco l'immagine dell'oggetto, magari con l'aiuto del piccolo telescopio descritto sopra, curando che la massima nitidezza nell'immagine dell'oggetto si abbia simultaneamente alla visione nitida del reticolo.

I canali fotografico e visione, dunque, possono essere ottenuti per suddivisione di un unico fascio, come in fig. 2, partendo da un unico tubo porta-oculari, oppure provenire ognuno da uno dei due "canali"; in questo caso, il punto comune ai due canali è l'oggetto. Diviene difficile anche per il costruttore assicurare la parfocalità dei due canali, cioè la coincidenza dell'immagine del canale F con l'emulsione e coincidenza simultanea dell'immagine del canale V col piano del reticolo. Occorre quindi eseguire di tanto in tanto un controllo, specie dopo l'acquisto:

--- si ponga nel canale F, al posto della pellicola, una lastrina di vetro volutamente graffiata, colla faccia graffiata poggiata sulle stesse superfici su cui poggia l'emulsione;

— osservare quella faccia con una forte lente (almeno 20 ×) mettendo a fuoco i graffi;

— osservando nel canale visione, si metta a fuoco il reticolo e poi l'oggetto finché entrambi appaiono simultaneamente nitidi. Eventualmente aiutarsi con un piccolo telescopio, come già ricordato.

--- si torni al canale F. Attraverso la lente si controlli che l'oggetto appaia nelle migliori condizioni di fuoco mentre i graffi restano sempre nitidi. Si dovrà oscillare sopra e sotto la posizione iniziale per assicurarsi del miglior fuoco. Ricontrollare alternativamente, e più

volte, anche il canale V .

Se non si ottiene la miglior definizione simultaneamente nei due canali, occorre una modifica di qualche quota geometrica del sistema, per es. dell'altezza di uno degli oculari.

Vi sono ancora sistemi fotografici per microscopi stereoscopici consistenti in un semplice raccordo che serve a montare una fotocamera commerciale su uno dei tubi porta-oculari (fig. 1 a destra). La fotocamera deve essere auto-sufficiente, nel senso che inquadratura e messa a fuoco debbono effettuarsi col relativo mirino; deve ovviamente trattarsi di un mirino "reflex". L'obiettivo della fotocamera può essere smontato o non; entrambe le soluzioni presentano degli inconvenienti¹⁵. Abbiamo già accennato a questi raccordi economici ed abbiamo citato i limiti dei mirini fotografici usati al microscopio. Si tratta insomma di soluzioni di ripiego.

Per finire, la focalizzazione in un microscopio stereoscopico può avere da fronteggiare altri problemi :

— L'oggetto è spesso fortemente accidentato, cioè con superficie non piana né regolare, e con spessore molto superiore alla profondità di fuoco del sistema. Può quindi essere difficile giudicare su quale particolare di esso è meglio eseguire la focalizzazione.

-- Negli strumenti costruiti secondo lo schema CMO (fig. 7), un oggetto piano e perpendicolare all'asse dell'obiettivo, e quindi perpendicolare agli assi secondari A1 ed A2, produce un'immagine intermedia ancora perpendicolare all'asse ottico del sistema. Invece nei sistemi sec. Greenough (fig. 8) un oggetto piano viene normalmente disposto perpendicolarmente alla bisettrice dei due assi A3 ed A4, quindi è inclinato rispetto all'asse di entrambi gli obiettivi. Anche le due immagini intermedie sono inclinate rispetto all'asse (A3 o A4). La focalizzazione va quindi eseguita al centro del campo, ignorando le sfocature che si verificano ai lati.

-- Nello schema CMO (fig. 7), i due obiettivi sono dati da due porzioni separate, decentrate, dello stesso sistema di lenti. Questo rende assai più difficile la correzione delle aberrazioni e quindi l'apprezzamento della posizione di maggior definizione dell'immagine: le aberrazioni per fasci extrassiali provocano più forti variazioni della definizione al variare della messa a fuoco che non le aberrazioni assiali, ma difficilmente vi sarà una correzione completa, neppure al centro del campo, come è invece possibile con gli obiettivi centrati del sistema Greenough.

¹⁵ Se l'obiettivo della fotocamera rimane montato, va messo a fuoco per l'infinito. Inoltre, si aumenta il pericolo delle "cata-diottriche" (vedi il manuale "Problemi tecnici della microscopia...", Cap. 32.7.5). Se l'obiettivo è smontato, occorrerà in genere alterare la messa a fuoco del microscopio, come detto sopra.