

Il metodo delle “CATADIOTTRICHE” in MICROSCOPIA ed in OTTICA

I termini

Si chiama “catadiòtrico”¹ un sistema ottico basato sulla riflessione (“cata”) e sulla trasmissione o rifrazione nelle lenti (“dia”); esempi: il binocolo prismatico, in cui i prismi operano in riflessione interna, e l’obbiettivo astronomico secondo Schmidt, in cui lo specchio principale è preceduto da una lente asferica. “Catadiòtro” o “catarifrangente” è un sistema usato nella segnalazione stradale, applicato al retro dei motoveicoli o a terra, capace di riflettere verso la sorgente (un veicolo che segue con i fari accesi) il fascio che vi incide; funziona anch’esso per rifrazione e riflessione e fa apparire luminosi certi segnali al buio, purché colpiti dalla luce del veicolo che sopravviene. È costituito in genere da una semplice piastra di materiale plastico trasparente, opportunamente sagomata su una delle facce.

Più specificamente, l’“immagine catadiottrica”, per gli amici, la “catadiottrica”, è un’immagine spuria di una sorgente, formata per riflessione e rifrazione alle superfici di un sistema di lenti. Dove andrà a fuoco tale immagine, sarà da vedere caso per caso, ma non è mai desiderabile.

Cosa sono

In fig. 1 si veda uno schema del fenomeno, nel quale è prevista una sorgente di piccole dimensioni (in un microscopio, può essere il diaframma d’apertura molto chiuso o la pupilla d’uscita dell’obbiettivo) e le linee intere indicano ipotetici percorsi di un fascio che, dalla sorgente, incide sulle varie superfici aria-vetro. L’osservatore, o la macchina fotografica, si trova a destra.

Nella parte sinistra della figura 1, la sorgente si trova dalla parte opposta alla pupilla dell’osservatore (o dell’obbiettivo fotografico); nella parte destra, dalla stessa parte.

Nel primo caso, l’immagine catadiottrica si forma per un doppio riflesso su due delle varie superfici delle lenti: ognuna delle possibili coppie (o associazioni di coppie) delle superfici, può produrre una catadiottrica. Spesso, le catadiottriche saranno così sfocate da non essere distinguibili, anche se contribuiranno a creare un velo di luce diffusa che abbassa il contrasto. Quando invece appaiono relativamente concentrate, si rendono visibili.

Queste catadiottriche “per trasparenza”, osservate ponendosi dalla parte opposta alla sorgente come in fig. 1, a sinistra, possono apparire come nelle figure 2, 3, 4, e da 7 ad 11.

Nel secondo caso, delle catadiottriche “per riflessione” diretta, può bastare un riflesso solo o un numero dispari di riflessi. Lo schema è in fig. 1 a destra, e l’aspetto del fenomeno nelle figg. 5 e 6, che somigliano alle precedenti.

Il numero totale delle catadiottriche, che si possono formare con il meccanismo sommariamente descritto, è naturalmente crescente al crescere del numero di superfici aria-vetro. Con un sistema a quattro superfici, come in fig. 1 a sinistra, si hanno 6 possibili riflessi; con 5 superfici, 10 riflessi, e questo vale calcolando solo il riflesso più semplice, dato da una sola coppia di superfici; calcolando i riflessi ripetuti, formati da due o più coppie di superfici, il numero totale cresce rapidamente anche se, in questo caso, il fascio riflesso s’indebolisce ad ogni riflessione e diviene rapidamente impercettibile².

¹ Dal greco “cata” = in basso, indietro, riferito alla riflessione, “dia” = attraverso, riferito alla trasmissione, più il suffisso “op” = vedere.

² Ricordiamo che l’intensità di un fascio riflesso va da un minimo di circa 4 % del fascio incidente per incidenza “normale” e per vetri leggeri, ma cresce al crescere dell’indice del vetro e soprattutto al crescere dell’angolo d’incidenza, fino a raggiungere il 100 % per incidenza radente.

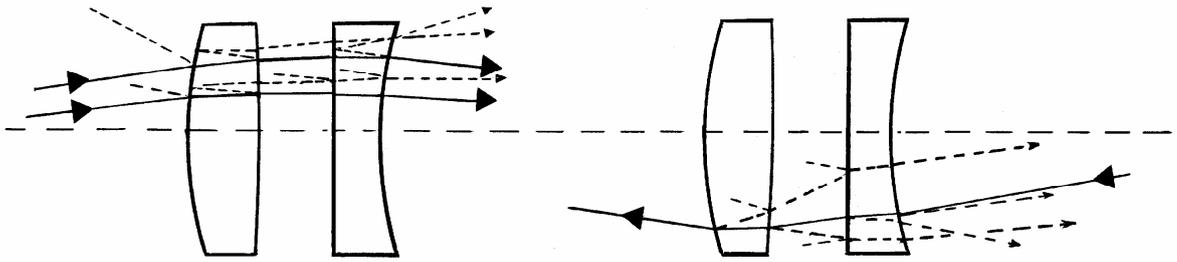


Fig. 1 – Formazione delle “catadiottriche” per trasparenza (a sinistra) o per riflessione diretta (a destra) in un semplice sistema a due lenti. A linea intera, i raggi “utili”, che concorrono nell’immagine principale. A tratteggio fine, qualcuno dei possibili raggi riflessi per uno dei possibili raggi incidenti.

A sinistra, i riflessi della prima superficie della prima lente tornano verso la sorgente (a sinistra, fuori figura) e non possono concorrere nell’immagine principale (a destra, fuori figura). A destra, la posizione di sorgente ed immagine sono invertite ed i riflessi tornano verso la sorgente; qui, anche la prima superficie può dare una catadiottrica.

Dove

Come già accennato, in qualunque sistema ottico vi sarà una sorgente in senso lato: può essere il sole, una lampadina, un diaframma di campo illuminato, una superficie convessa (anche di una lente) che produce un’immagine virtuale impiccolita della sorgente, una superficie speculare qualunque, ecc.

In fotografia, in campo televisivo, ecc., tutti avranno visto una foto come quella di fig. 2, in cui una sorgente è vicina ai bordi del campo e se ne creano vari riflessi disposti secondo un diametro del campo stesso. In campo TV, capita spesso di vedere una serie nutrita di macchie chiare quando l’operatore punta l’obiettivo in una direzione vicina a quella del sole, anche se questo rimane fuori campo: si tratta spesso di obiettivi “zoom”, contenenti un gran numero di lenti, e quindi capaci di fornire un numero elevato di riflessi interni.



Fig. 2 – Normale fotografia con forte sorgente ai limiti del campo. È visibile una catadiottrica verde, a sinistra; subito a destra di questa, una bianca; più al centro, una viola. Il diverso colore dei vari riflessi dipende dai trattamenti antiriflettenti depositati sulle varie lenti dell’obiettivo.

Le figure da 3 a 9 mostrano alcune catadiottriche reali come si formano in un sistema ottico qualunque. Nelle figure da 3 a 6, appare ciò che si vede semplicemente guardando (o fotografando) verso un obiettivo da proiezione illuminato da dietro (figg. 3 e 4) o dal davanti (figg. 5 e 6). Le macchioline più piccole e rotonde sono, tutte o quasi, catadiottriche tipiche, come quelle descritte all’inizio. Accanto a queste, si vedono delle lunette chiare arcuate che

rappresentano evidentemente riflessi sulle montature (barilotti) delle varie lenti.

Se la sorgente si trova sull'asse ottico, è ovvio che, per ragioni di simmetria, anche le catadiottriche si troveranno sull'asse. Lavorando per trasparenza, per es: puntando la fotocamera verso una lampadina al centro del campo, tutte le catadiottriche sarebbero sovrapposte al centro della foto, ma non si vedrebbero, poiché sarebbero coperte dalla sorgente. Ma questo è un caso assai raro.

Molto più scomode sono le catadiottriche che si vanno a formare sul piano dell'immagine, come nella fig. 2, ripresa con una normale fotocamera. Se la sorgente è decentrata, come avviene di solito, avremo una serie di macchioline, decentrate nel caso più generale.

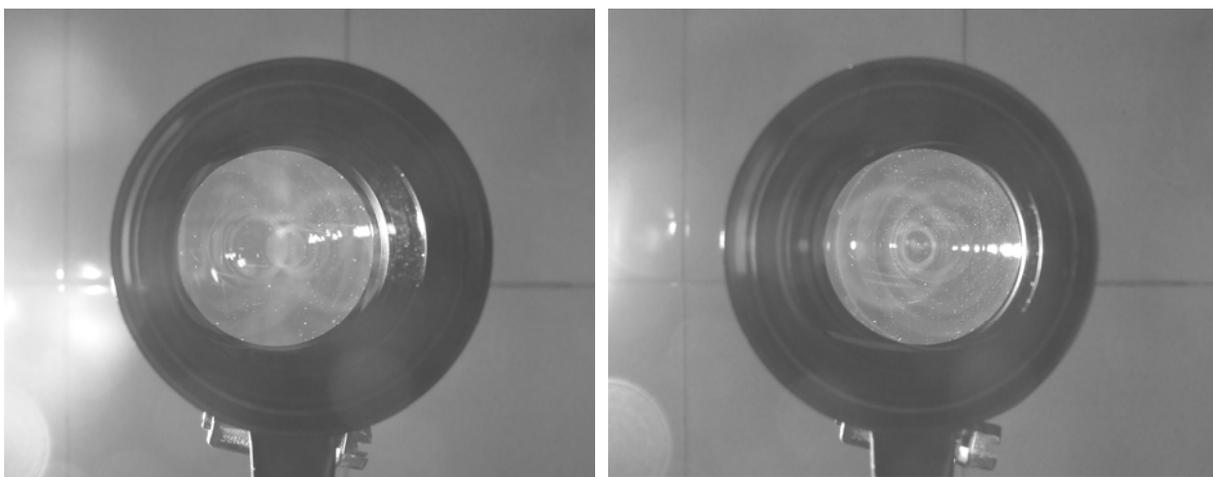


Fig. 3 e 4 – Catadiottriche per trasparenza. La lampada “spot” si trova di là dalla lente, a sinistra, appena fuori campo, come dimostra la luce diffusa sulla parete di fondo.



Fig. 5 e 6 – Catadiottriche per riflessione. La lampada si trova alle spalle ed a destra del fotografo, come dimostra il riflesso sulla parete di fondo, presso l'orlo destro della lente.

In un microscopio, la sorgente cambia a seconda dello stadio intermedio considerato: può essere la lampadina (o il suo filamento) dal punto di vista del collettore; può essere il diaframma di campo illuminato dal punto di vista del condensatore; può essere il diaframma d'apertura del condensatore dal punto di vista dell'obbiettivo; può essere la pupilla d'uscita dell'obbiettivo (che contiene poi un'immagine reale del diaframma d'apertura) dal punto di vista dell'oculare; può essere la pupilla d'uscita dell'oculare (immagine della pupilla d'uscita dell'obbiettivo) dal punto di vista dell'obbiettivo della fotocamera o della telecamera. I casi reali sono molto vari e normalmente imprevedibili.

Nelle figure da 7 a 9 è stata fotografata (direttamente o tramite una lente di Amici) la pupilla d'uscita di un obbiettivo da microscopio: a parte le lunette sulla destra (riflessi sui

barilotti) sono visibili parecchie catadiottriche tipiche. La sorgente in questo caso è la microlampada o, piuttosto, la sua immagine fornita dal condensatore. Nelle fig. 7 ed 8 , all'interno della pupilla dell'obbiettivo, ricade un'immagine sfocata della "sorgente", che abbiamo detto essere un'immagine della microlampada. Affinché fosse visibile l'intera serie delle catadiottriche, tale sorgente è stata posta ai limiti della pupilla, semplicemente decentrando la microlampada. In fig. 9 il decentramento è stato aumentato in modo che nella pupilla si vedessero solo le catadiottriche.

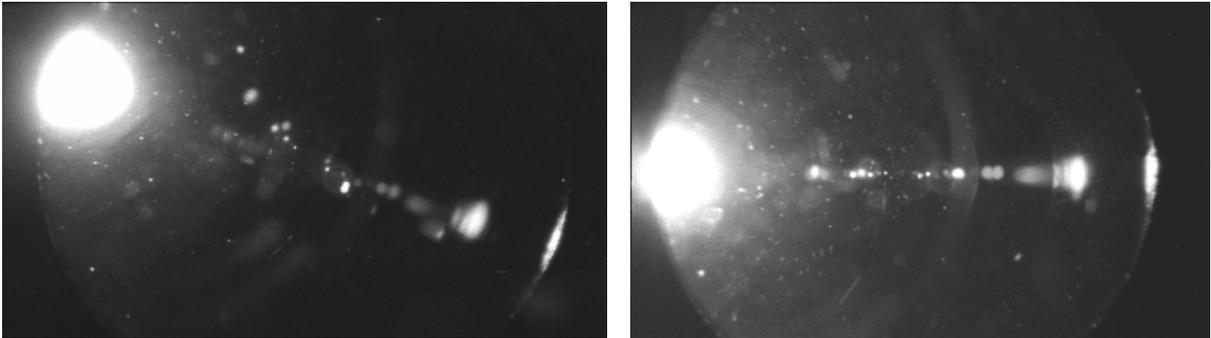


Fig. 7 ed 8 – Pupilla dell'obbiettivo di un microscopio, con microlampada decentrata (grande macchia chiara a sinistra) in modo da illuminare solo il bordo della pupilla.

DD1-115

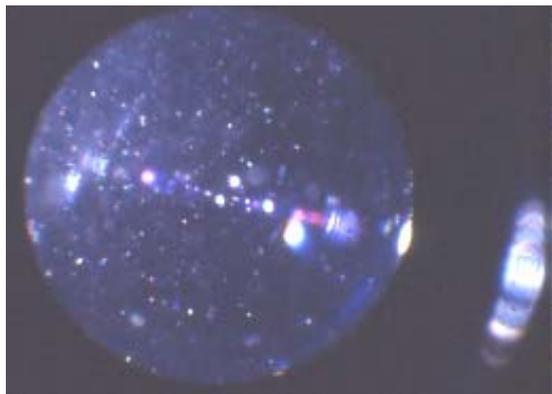
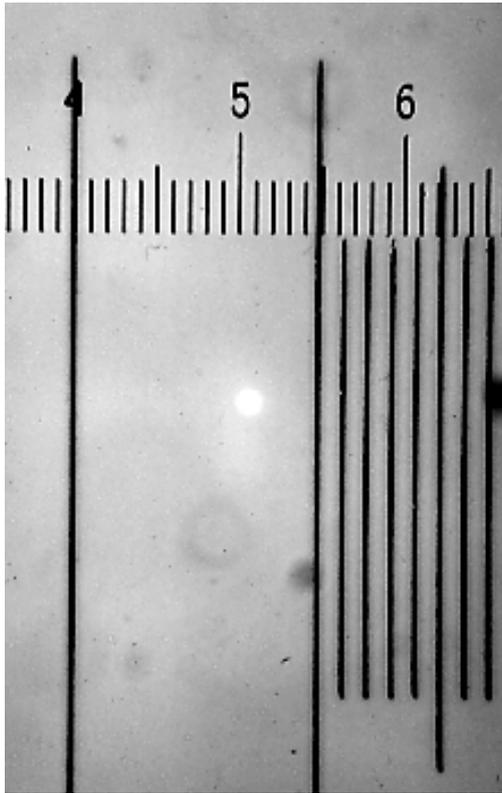


Fig. 9 – In questo caso, il fascio illuminante è così obliquo da sfuggire del tutto all'obbiettivo, ma i riflessi sulle lenti si formano lo stesso, poiché le lenti inferiori dell'obbiettivo sono ancora lambite da una parte del fascio. La macchia ovale all'estrema destra viene da un riflesso sull'interno del barilotto di una delle lenti.

Nelle figure 10 e 11 , si vede infine l'immagine finale data da un microscopio nel quale appare una catadiottrica piuttosto indesiderabile.

DD1-205



DS1-30

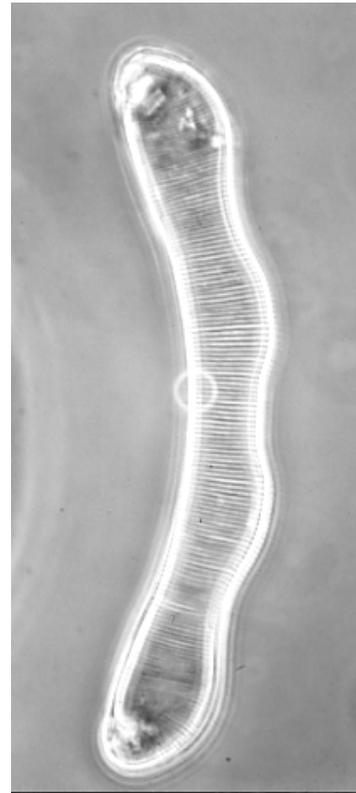


Fig. 10 ed 11 – Catadiottriche nell’immagine finale di un microscopio. A sinistra, durante l’osservazione di un micrometro-oggetto (scala più grande) con un oculare micrometrico (scala più stretta). A destra, sovrapposta all’immagine di una Diatomea (*Eunotia* sp.); la catadiottrica è anulare, poiché nella pupilla d’obbiettivo si ritrova l’immagine del diaframma anulare presente nel condensatore di fase: il forte contrasto dell’immagine e la presenza di aloni dimostrano che la fotografia è stata ripresa in contrasto di fase.

I rimedi

Abbiamo visto che il numero delle catadiottriche possibili in un sistema anche semplice come quello di fig. 1 è elevato; per fortuna, la maggior parte di questi fasci riflessi è così debole e soprattutto così sfocata che non risulta percettibile. Ma le figure di sopra dimostrano che qualcuno può creare una macchiolina chiara disturbante.

Poiché le catadiottriche si formano a causa dei riflessi sulle superfici delle lenti, i rimedi che il costruttore può mettere in atto sono due: cercare una “ricetta”, vale a dire una struttura geometrica del sistema per eliminare i riflessi, almeno quelli che si vanno a focalizzare nel piano dell’immagine finale, come quelli visibili in fig. 2, 10 ed 11. Altro rimedio: curare i “trattamenti antiriflettenti” (vedi il manuale “Problemi tecnici della microscopia...”, Cap. 17.1.2 e 23.1) alla superficie delle lenti, che riducono l’intensità dei riflessi.

Da parte dell’utente, invece, c’è poco da fare. Si può evitare di puntare la cinepresa verso il sole o il fanale, variare il rapporto di zoom, ove possibile, cambiare obbiettivo, o poco altro.

Il micrografo ha però qualche possibilità nel modificare il sistema ottico: l’obbiettivo, l’oculare, qualche sistema intermedio (variatori d’ingrandimento, tubi da disegno, filtri, ecc.). È chiaro che la scelta di questi sistemi deve ottemperare ad esigenze a volte ineludibili, ma qualcosa si può generalmente fare. Per es., la foto di fig. 11 fu rifatta cambiando oculare e la catadiottrica sparì.

I vantaggi

1) Controllo dell’allineamento

Si può dimostrare che, dovunque si trovi la sorgente davanti ad un sistema ottico

centrato³, tutte le catadiottriche si formano in un piano passante per l'asse ottico del sistema e per la sorgente. Se l'osservatore pone il proprio occhio (o il proprio obiettivo fotografico) sullo stesso piano, tutte le catadiottriche gli appariranno allineate lungo una retta che incrocia l'asse del sistema. Ciò è visibile nelle figure 2, 4, 6 ed 8. Se invece la sorgente non si trova sul piano definito dall'asse ottico e dalla pupilla dell'osservatore (o la pupilla non si trova sul piano contenente l'asse ottico e la sorgente, che è lo stesso), le catadiottriche appariranno non allineate su un'unica retta. È quanto si vede nelle figure 3, 5, 7 e 9. In fig. 3 la sorgente è stata chiaramente abbassata; in fig. 5 è stata alzata. In altre parole, se il sistema è intrinsecamente centrato, si riuscirà sempre a trovare una posizione dell'occhio e/o della sorgente per la quale le catadiottriche risultano allineate. Se non si riesce a trovare quella posizione, allora c'è qualcosa di non centrato nel sistema in esame.

Supponiamo ora di operare su un sistema complesso, formato da vari sottosistemi, tutti passibili di centratura separata. Vogliamo occuparci in particolare di un microscopio ottico (vedi l'art. n° 20: "L'allineamento del sistema ottico del microscopio", presente in questo sito, nel quale è esposta la differenza fra "centratura" ed "allineamento"). È intuitivo che tutte le parti vanno centrate ed allineate su un asse ottico comune; se ciò è verificato, vale quanto detto finora: se l'occhio e la sorgente si trovano su uno stesso piano passante per l'asse ottico comune, tutte le catadiottriche debbono apparire allineate.

Effettivamente, in fase di costruzione, le varie parti vanno montate con precisi rapporti geometrici fra loro e le operazioni d'assemblaggio seguono criteri definiti, con tolleranze, sugli errori di centramento ed allineamento, altrettanto definite. Nell'articolo citato è data qualche indicazione di principio.

Ci occupiamo qui invece del caso in cui qualche lente o sistema del microscopio non si trova sullo stesso asse degli altri. Ovvero, cosa può fare l'utente nel senso di provocare involontariamente oppure correggere un'imperfetta centratura del proprio strumento? In un microscopio ottico possono essere suscettibili di centratura alcune parti, a discrezione dell'utilizzatore:

- all'interno della microlampada, l'ampolla, a volte il collettore o il diaframma di campo; a volte, lo specchio sferico dietro l'ampolla;
- se presente, lo specchietto orientabile sul piede dello strumento;
- il condensatore; a volte, il suo diaframma d'apertura; se presente, la lente a grande campo;
- in rari casi, l'obiettivo o almeno i fori del revolver oppure il revolver in toto;
- in casi particolari, altri sub-sistemi.

In molti casi, come illustrato in alcuni "libretti d'istruzione", certi organi sono facilmente centrabili con semplici criteri. Per es., il condensatore è spesso indicato come centrabile ponendo come criterio il fatto che l'immagine del diaframma di campo risulti centrata rispetto al campo visuale. Ma può avvenire, più spesso di quanto non si creda, che vi sia un piccolo errore PRIMA del condensatore (in uno degli specchi intermedi, nella posizione della microlampada o del diaframma di campo, ecc.); a questo punto, la manovra consigliata, vale a dire spostare il condensatore per centrare l'immagine del diaframma di campo, può servire a correggere l'errore presente prima del condensatore, ma col risultato che quest'ultimo non è più centrato rispetto all'obiettivo. Un errore scaccia l'altro per quanto riguarda l'immagine del diaframma di campo, ma il fascio illuminante prodotto dal condensatore non sarà più centrato, occorrerà ricentrare i diaframmi anulari per il contrasto di fase, ecc.

Quello descritto è solo un esempio, ed altri casi frequenti possono presentarsi in altre circostanze.

Ecco qui l'utilità delle catadiottriche.

Il caso delle figure 7 e 9 è proprio quello di un condensatore non centrato bene rispetto all'obiettivo: le catadiottriche non sono allineate tutte su un diametro della pupilla d'uscita

³ Per "centrato" intendiamo in questo contesto particolare: "Che possiede un asse ottico che coincide con l'asse di simmetria rotatoria di ognuna delle sue parti". In altre parole, il sistema è simmetrico attorno ad un asse.

dell'obbiettivo, com'è visibile nelle figure, e non si riesce ad allinearle, comunque si sposti l'occhio o la sorgente.

In pratica, si opera così: si osserva la pupilla d'uscita dell'obbiettivo, anche ad occhio nudo, ma preferibilmente tramite una lente di Amici o il "microscopio ausiliario" per contrasto di fase⁴; il condensatore dovrà stare molto vicino al suo fine-corsa superiore; in genere, sarà opportuno togliere il preparato, che in ogni modo dovrà essere molto trasparente; il diaframma d'apertura si apre tutto, mentre si chiude molto il diaframma di campo; si sposta la microlampada o uno degli specchi interposti finché la sua immagine si sposta fino all'orlo della pupilla. Se la microlampada e gli specchi interposti sono incorporati nel piede dello strumento e non sono accessibili né mobili, si può semplicemente infilare una lente d'ingrandimento debole, da 2 o 3 ×, sotto il condensatore e spostarla fino a porre la macchiolina luminosissima (l'immagine della microlampada) sull'orlo della pupilla⁵.

A questo punto, spostando la microlampada, o lo specchio o la lente d'ingrandimento, si porti l'immagine più luminosa in alto (per es.), presso l'orlo della pupilla o appena fuori di essa. Si sposti ora il condensatore con le apposite viti che spuntano dal porta-condensatore, o l'obbiettivo, se centrabile, o il revolver (quando è amovibile, esiste almeno una vitolina che determina la sua posizione in direzione longitudinale), o addirittura il braccio porta-revolver (facile, se è fissato alla colonna), finché tutte le catadiottriche risultano allineate su un diametro verticale. Il movimento dovrebbe essere eseguito orizzontalmente (trasversalmente). Può accadere, durante questa centratura, che l'immagine della sorgente si sposti dal punto più alto della pupilla, dove era stata posta; poco male: muovendo lo specchio o la lente d'ingrandimento, la si riporta in alto.

Ottenuto l'allineamento delle catadiottriche sul diametro verticale, si sposta lo specchio o la microlampada o la lente finché l'immagine della sorgente si trova a destra o a sinistra, sempre presso l'orlo della pupilla. Si ricomincia a muovere il condensatore, o il revolver, ecc. finché le catadiottriche sono allineate anche su un diametro orizzontale. In questo secondo spostamento, il condensatore o il revolver o l'obbiettivo vanno mossi verticalmente.

A questo punto, occorre ricontrollare l'allineamento delle catadiottriche su un diametro verticale e forse ripetere più volte l'intera centratura fino a raggiungere il miglior risultato per approssimazioni successive.

Il condensatore dovrebbe ora trovarsi ben centrato rispetto l'obbiettivo.

Lo stesso metodo può essere utile per centrare l'eventuale lente flottante di un obbiettivo (vedi il manuale "Problemi tecnici della microscopia...", Cap. 13.2.4 e 19.5.2); questa centratura può essere necessaria dopo aver smontato un obbiettivo medio-forte allo scopo di pulirlo o di togliere l'olio d'immersione che, col tempo, può filtrare al suo interno. In quest'ultimo caso però è più sensibile e più sicuro il metodo dello "star test" (stesso testo, Cap. 18.4).

2) L'identificazione dell'asse ottico

Questa operazione può essere utile in un microscopio, per es. per controllare la centratura degli anelli di fase in un obbiettivo, oppure quella di un oculare rispetto all'obbiettivo stesso.

Quest'ultimo problema si pone nei casi, cioè quasi sempre, in cui fra oculare ed obbiettivo si trovano specchi o prismi. Una deviazione anche minima di queste parti rispetto alla posizione ideale sposta l'asse ottico dell'obbiettivo rispetto all'oculare (o viceversa); si veda l'art. n° 20: "L'allineamento del sistema ottico del microscopio", presente in questo sito. La tecnica è semplice: si toglie l'oculare; si monta un obbiettivo debole-medio e se ne osserva la pupilla d'uscita con una debole lente d'ingrandimento o con degli occhiali da presbite da almeno tre diottrie. Si toglie il condensatore ed al suo posto si mette una lampadina del tipo per torce tascabili (per es., da 3 V, purché abbia un filamento di 3 - 4 mm di lunghezza, al

⁴ Questi sistemi andranno focalizzati fino a rendere nitido il maggior numero di catadiottriche, non tutte poiché esse si formano su piani diversi, ma, anche se qualcuna è sfocata, si riesce sempre a verificare il suo allineamento con le altre.

⁵ Una lente sferica decentrata si comporta anche come un cuneo, che sposta lateralmente il fascio che l'attraversa.

massimo). Spostando la lampadina⁶, si deve vedere nella pupilla d'obbiettivo una serie di catadiottriche⁷. Si sposta l'occhio finché esse sono ben allineate. Se l'allineamento è all'incirca orizzontale, s'incolli ora sull'orlo del tubo⁸, all'altezza dell'oculare, un filo sottile orizzontale che taglia l'apertura del tubo in modo da sovrapporsi alla fila delle catadiottriche quando sono ben allineate.

Si ripeta l'operazione in direzione ortogonale e si fissi un altro filo incrociato col primo.

Se il punto d'incrocio si trova al centro dell'orlo del tubo, tutto va bene. Altrimenti, occorre ritoccare i prismi. La tolleranza nella posizione dell'incrocio dei fili è di pochi decimi di millimetro.

Se si fosse sicuri che il condensatore è ben centrato, converrebbe tenerlo montato, il che aumenta il numero delle catadiottriche visibili.

Ma più spesso è utile identificare l'asse ottico in un obbiettivo fotografico o da proiezione, per es. per controllare che il sistema sia ben allineato rispetto ad una direzione prefissata o "puntato" verso un certo oggetto.

Ci si metta nelle condizioni di fig. 4 o 6: si punti l'obbiettivo in esame verso un muro e si disponga lateralmente una piccola lampada, non troppo debole; va bene una lampadina per auto, da 12 V, 20 W. Si muova ora la lampada e/o l'occhio dell'osservatore fino a vedere tutte le catadiottriche allineate su una linea circa orizzontale, come in figura (si suppone un sistema intrinsecamente centrato). Basandosi sulla linea ideale su cui si trovano allineate le catadiottriche, si tracci sul muro di fronte all'obbiettivo una linea passante per la sorgente e per la fila di quelle. L'operazione è più facile se la sorgente è fissata al muro.

Poi si sposti la sorgente in basso (o in alto) fino a vedere le catadiottriche allineate su un diametro verticale. Si tracci sul muro una seconda linea, all'incirca perpendicolare alla prima, sempre passante per la sorgente e per l'allineamento delle catadiottriche.

In questo caso, è probabile che non risulti necessario ripetere più volte l'operazione poiché l'allineamento in verticale non dovrebbe influire su quello in orizzontale.

Durante queste operazioni, occorre ovviamente che l'operatore stia ben fermo, per es. disponendo la cima di un treppiede presso l'asse dell'obbiettivo, a qualche decimetro di distanza da quello, in modo da avere un punto di riferimento (il punto superiore del treppiede) ove porre l'occhio. Il punto ove porre l'occhio andrà probabilmente cambiato fra la prima e la seconda fase del lavoro.

L'asse ottico del sistema passa per il punto d'incontro delle due linee appena tracciate.

⁶ Per tentativi, si troverà l'altezza della lampadina che provoca il maggior numero di catadiottriche. In questo senso, può essere utile anche cambiare l'obbiettivo.

⁷ Disponendo di uno specchietto orientabile sul piede del microscopio, può essere sufficiente spostare lo specchio, usando come sorgente la microlampada col diaframma di campo tutto chiuso.

⁸ Si può usare un piccolo elastico che tratterrà i fili, pur consentendone lo spostamento. Il filo può essere un sottile filo da cucire, possibilmente bianco per aumentarne la visibilità.