

Art. n° 48 – La TASSONOMIA¹ dei MICROSCOPI

Dopo la sbrodolata dei precedenti articoli sulla microscopia, una vocetta si è alzata per dire: “... ma, alla fine, tutti gli strumenti descritti là dentro non si potrebbero disporre secondo un ordine e magari classificarli per chi si avvicina per la prima volta a quest’argomento?”

La voce degli innocenti ... Sarebbe stato meglio provvedere fin all’inizio.

Supponiamo di non trattare qui dei “microscopi semplici”, quelli formati da sistemi anche complessi ma riconducibili ad una lente semplice, ad una “lente d’ingrandimento”, capaci di formare direttamente un’immagine virtuale, diritta ed ingrandita di un oggetto posto presso il fuoco della lente (vedi la scheda tecnica n° 123).

Per contro, i microscopi “**composti**” sono riconducibili a due lenti o due sistemi di lenti distinti, il primo convergente (che forma un’immagine reale, rovesciata ed ingrandita di un oggetto), l’**obbiettivo**; il secondo, generalmente (ma non necessariamente) convergente, che forma un’immagine finale virtuale (reale per la fotografia e la ripresa televisiva) dello stesso oggetto, ulteriormente ingrandita, l’**oculare** o il “proiettivo”.

Nella realtà, un simile strumento “composto”, formato da due sistemi distinti, può funzionare come unità autosufficiente per i minori ingrandimenti, ma occorre presto completarlo con un sistema illuminante, adeguato alle varie applicazioni. Accenneremo a questo nelle pagine che seguono.

Una prima divisione di partenza dei microscopi composti si può proporre in base a questo criterio elementare: un obiettivo o due obiettivi?

SISTEMI MONO-OBBIETTIVO

Molti strumenti possiedono un solo obiettivo, complesso fin che si vuole, ma capace di dare una sola immagine dell’oggetto².

Se, sopra un tale obiettivo, supponendo di ignorare eventuali sistemi intermedi accessori, si trova un solo oculare, da quello si potrà avere una sola immagine e si osserverà con un solo occhio. In certi casi, l’oculare è sostituito da un “proiettivo” che forma un’immagine reale su uno schermo smerigliato o su uno schermo murale: la si potrà guardare con due occhi, ma l’immagine rimane unica.

Lo strumento si chiama allora **monoculare**.

Se gli oculari, invece, sono due, si parla di uno strumento “**bioculare**”³, ed in questo caso l’unico fascio formatore d’immagine, quello fornito dall’obiettivo, viene diviso in due ad opera di uno specchio semi-riflettente secondo lo schema di base della fig. 1.

Il semi-riflettente deve, o dovrebbe, fornire due fasci identici sia dal punto di vista geometrico che fotometrico. In queste condizioni i due oculari, che devono essere identici, forniscono due immagini, anch’esse identiche.

La fusione mentale delle due immagini consente, a livello cerebrale, di compensare eventuali piccole differenze di acuità visiva fra i due occhi dell’osservatore e comunque permette ad esso di operare in migliori condizioni fisiologiche.

¹ La tassonomia si definisce “... branca della scienza che studia i metodi di ordinamento in sistema degli elementi, dei dati, ... appartenenti ad un determinato ambito scientifico”. (Vocabolario della lingua italiana, Treccani).

² Spesso sono presenti diversi obiettivi intercambiabili, ma essi entrano in funzione solo uno alla volta.

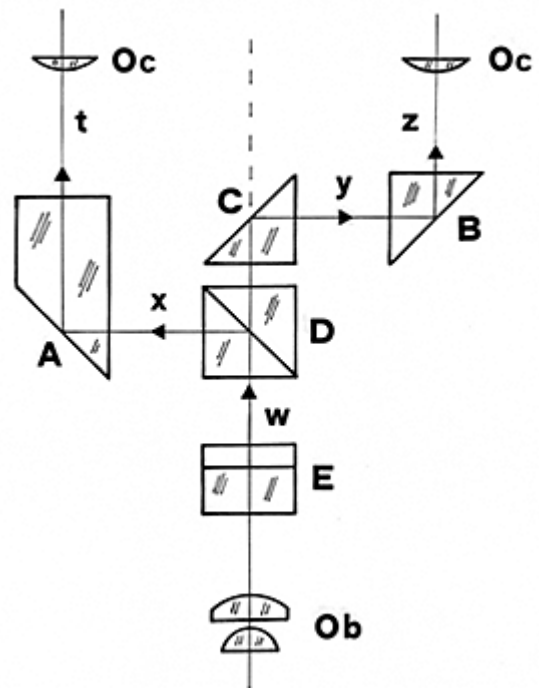
³ Il termine “**bioculare**” in questo caso va escluso in quanto esso si riferisce agli strumenti stereoscopici, di cui si parla più sotto.

Fig. 1 – Il fascio emergente dall'obiettivo **Ob** (W) può essere inclinato da un opportuno prisma (E)⁴ in modo che, essendo verticale l'asse dell'obiettivo (e quindi orizzontale il tavolino), il tubo d'osservazione possa essere inclinato per facilitare la posizione dell'osservatore.

In D è schematizzato lo specchio semi-riflettente, sia pure depositato su una superficie diagonale all'interno di un prisma cubico. La superficie è quasi sempre inclinata di 45° rispetto all'asse del fascio W .

Dopo il prisma D si hanno allora due fasci parziali (x ed y) che, dopo opportune riflessioni nei prismi A , B e C , si trovano paralleli (t e z) e vengono inviati ai due oculari (Oc).

Alcuni rari costruttori, per consentire agli occhi una leggera "convergenza" (vedi subito sotto), rendono gli assi t e z leggermente convergenti, ma le due immagini rimangono identiche.



Sappiamo però che la nostra percezione del rilievo degli oggetti, della "terza dimensione", si basa su due fatti fondamentali: 1) la "convergenza" degli "assi visuali", vale a dire sul fatto che i nostri occhi osservano l'oggetto secondo due direzioni che convergono su di esso; 2) le due immagini che si formano sulle retine dei due occhi non sono identiche, per il semplice fatto che sono riprese da un'angolazione diversa.

Ne consegue che, se il tubo⁵ bioculare fornisce due immagini identiche, come appena sottolineato, l'osservazione non ci può dare informazioni sullo spessore dell'oggetto: ce lo mostra piatto⁶.

Ma in molti campi d'applicazione è necessario osservare oggetti con forte rilievo, ed allora si ricorre ad altri strumenti, chiamati opportunamente "stereoscopici", come vedremo più avanti.

A questo punto occorre fare un'altra distinzione, basata non sulla struttura del sistema formatore d'immagine (obiettivo + oculare), ma su un altro criterio: da che parte s'illumina l'oggetto?

Un DIAGRAMMA dei METODI d'ILLUMINAZIONE (vedi, in questo sito, l'art. n° 2)

Si supponga un oggetto piano e sottile, perpendicolare all'asse ottico del microscopio (P nella fig. 2, alla pagina seguente). Possiamo distinguere lo spazio che circonda il centro dell'oggetto (O) in due semi-spazi: uno sopra ($A-B-A$) ed uno sotto al piano-oggetto ($C-D-C$).

Supponiamo un generico obiettivo (Obb) il cui cono d'apertura sia definibile con la generatrice G (cono B , spazio superiore in arancione). Se l'oggetto è trasparente, in linea di principio esso deve essere illuminato con un "fascio illuminante" di apertura variabile, con un valore massimo simile a quello del cono d'apertura dell'obiettivo (cono D , spazio inferiore in arancione). A creare questo fascio illuminante provvederà un sistema convergente forte detto "condensatore" ($Cond$) la cui apertura potrà essere limitata (secondo criteri di contrasto, risoluzione, ecc.) da un diaframma ad iride posto nel primo piano focale del condensatore stesso.

⁴ Vedi, in questo medesimo sito, sezione "Microscopia ottica", il manuale "Problemi tecnici della microscopia ottica", cap. 11, pag. 91, fig. 34 B)

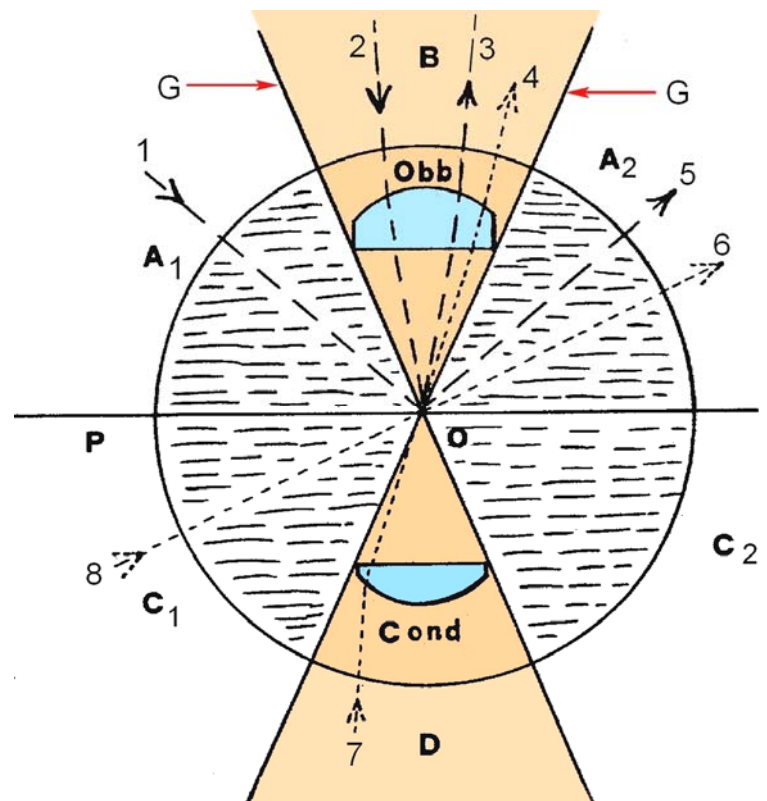
⁵ Si chiama "tubo" del microscopio la struttura (effettivamente tubolare negli strumenti più semplici o più antichi) che collega l'obiettivo all'oculare; in senso ridotto, si può chiamare "tubo" la parte superiore dello stativo che porta gli oculari. Quest'ultima viene anche chiamata "testata".

⁶ Solo foccheggiando un oggetto in rilievo su piani successivi si può eseguire una "sezione ottica" dell'oggetto stesso e visualizzare il suo contorno a diverse altezze, come si fa in una carta topografica con le "isoipse".

Fig. 2 – In un generico microscopio che osserva un oggetto sottile, trasparente, perpendicolare all'asse dello strumento (P), un sistema convergente (Cond) fornisce un fascio illuminante conico (D) che può venir accettato dall'obbiettivo (Obb). Un raggio generico compreso in questo fascio conico – convergente prima del piano oggetto (7) e divergente poi (4) – concorre alla formazione dell'immagine: osservazione in “diascopia”. Il fondo dell'immagine apparirà chiaro (“fondo chiaro”).

Se il fascio illuminante proviene da una direzione esterna al fascio D-B (8, zona C₁), non può essere raccolto dall'obbiettivo (6, zona A₂). Il campo oggetto risulterà scuro poiché il fascio illuminante sfugge all'obbiettivo, a meno che un oggetto in O diffonda una parte della luce, che può venir raccolta dall'obbiettivo: l'oggetto apparirà chiaro su un campo scuro (“fondo scuro”).

Se l'oggetto è opaco, occorre illuminarlo dall'alto (“episcopia”), o attraverso l'obbiettivo stesso (fascio 2, zona B), o dall'esterno (fascio 1, zona A₁). Un oggetto riflettente potrà apparire chiaro (episcopia in fondo chiaro) nel primo caso o, se riflette il fascio illuminante (1, che viene riflesso in 5), apparirà scuro (episcopia in fondo scuro) nel secondo caso.



Le zone in arancione della figura 2 rappresentano dunque un sistema completo: condensatore-obbiettivo, nel caso di un oggetto trasparente illuminato per trasparenza. Questo sistema d'illuminazione, sempre nel caso di un microscopio mono-obbiettivo, si chiama “osservazione in **diascopia**” o “per trasparenza” o “in luce trasmessa”. A seconda dell'apertura (inclinazione) del fascio illuminante, possiamo osservare l'oggetto su un fondo chiaro quando il fascio stesso (D) è compreso nell'apertura dell'obbiettivo (B). Se invece l'inclinazione del fascio illuminante è superiore all'apertura dell'obbiettivo (fascio 8, zona C₁), nel caso di un oggetto a superfici piane, esso verrà trasmesso con la stessa apertura, cioè fuori dall'apertura dell'obbiettivo (6, zona A₂). Il fondo dell'immagine sarà allora scuro e l'immagine può essere formata solo dalla radiazione diffusa, rifratta o diffratta dall'oggetto, che l'obbiettivo può accogliere all'interno della sua apertura utile (fascio B). L'oggetto apparirà chiaro su fondo scuro.

Nel caso di un oggetto trasparente abbiamo allora descritto l'illuminazione in **diascopia**, che può avvenire in **fondo chiaro**, con fascio illuminante a bassa apertura, o a **fondo scuro**, con fascio illuminante ad apertura superiore a quella dell'obbiettivo.

Vale la pena di illustrare questo primo, diffusissimo, modo d'osservazione con qualche esempio concreto di fondo chiaro.

Fig. 3 – Un condensatore adatto alla diascopia, secondo una ricetta molto diffusa a due lenti (“sec. Abbe”), contempla una lente inferiore di maggior diametro, sotto la quale si trova un diaframma d'apertura, ed una lente superiore, più o meno emisferica (“frontale”), che si può svitare al fine di diminuire l'apertura ed allargare il campo illuminato.

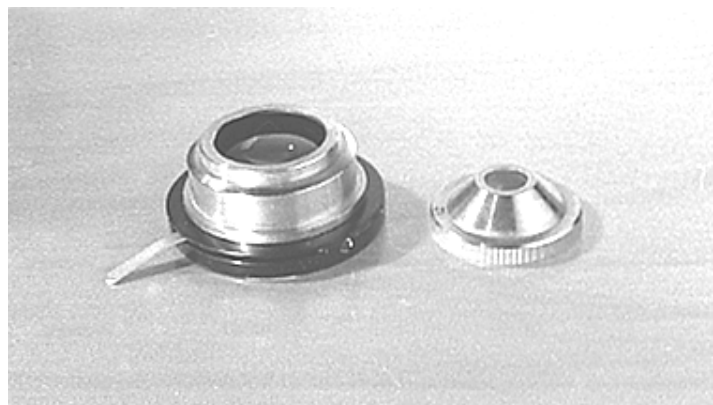


Fig. 4 – In una versione più comoda, la lente frontale (24) è ribaltabile poiché è portata dal braccio (20), girevole assieme alla manopola 22.

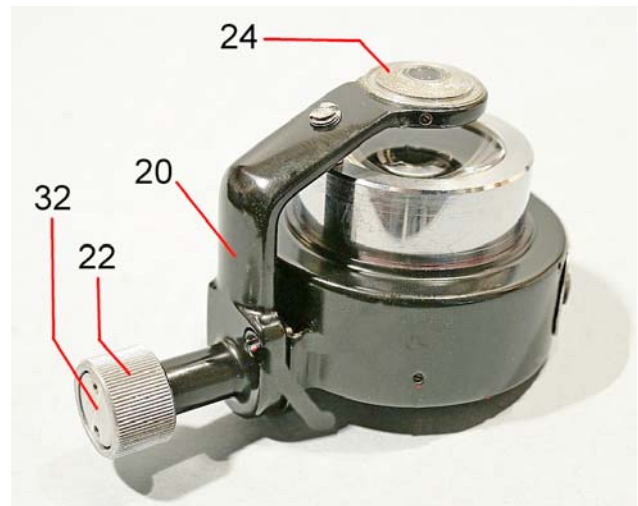
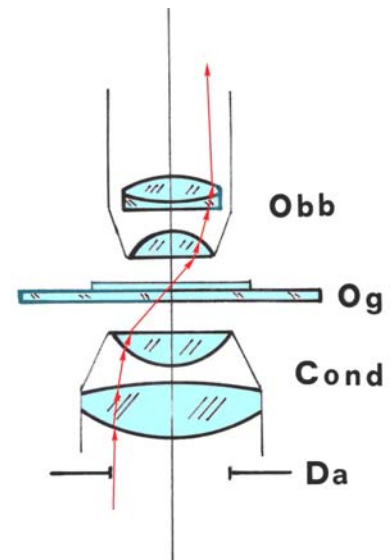


Fig. 5 – Lo schema a fianco corrisponde all'uso normale di un condensatore a due lenti per diascopea. Il diaframma d'apertura (Da) è aperto quanto basta affinché il raggio più aperto (linea rossa) sia accettato dall'obbiettivo.

Avremo quindi un "campo chiaro" in diascopea.

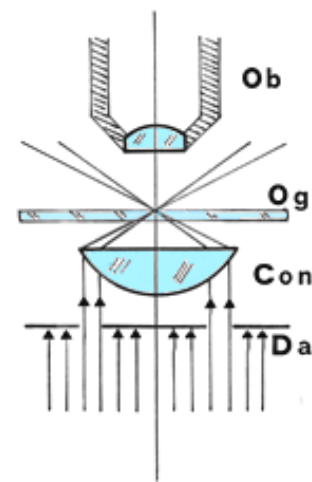
Per gli obiettivi ad immersione di apertura superiore ad $1,0^7$, il riempimento dell'apertura dell'obbiettivo si può ottenere solo con condensatori anch'essi ad immersione poiché un sistema "a secco" non può avere un'apertura superiore a 1,0 (massimo teorico) o 0,95 (limite pratico).



Passiamo ora al **fondo scuro**, sempre in **diascopea**.

Fig. 6 – Se si pone sotto al condensatore (nel suo primo piano focale, per esser pignoli) un diaframma anulare (Da), si può ottenere un fascio illuminante cilindrico cavo che il condensatore stesso può rendere convergente con un'apertura superiore a quella massima dell'obbiettivo.

È questo il campo scuro⁸ in diascopea, che è facile realizzare con obiettivi di apertura fino a circa 0,7. Per maggiori aperture, le aberrazioni di un condensatore normale impediscono la formazione di un campo veramente scuro e si ricorre ad altre ricette basate su specchi, notoriamente esenti da aberrazioni cromatiche.



⁷ Per casi particolari, esistono obiettivi ad immersione con apertura anche molto minore di 1,0. Si ricorda che gli obiettivi si chiamano "a secco" se fra lente frontale ed oggetto vi è aria; sono "ad immersione" se il loro progetto prevede un liquido nello stesso spazio. Se il liquido ha lo stesso indice del vetro, l'immersione si dice "omogenea" (HI = Homogeneous Immersion – oppure "Imm", "Olio", "Oil", oppure "Öl").

⁸ In genere, i termini "fondo chiaro" e "fondo scuro" sono sinonimi di "campo chiaro" e "campo scuro".

Fig. 7 (a destra) – Con sistemi “catadiottrici” (riflettenti e rifrangenti) è possibile ottenere il campo scuro in diascopia con obiettivi forti, sia ad immersione (sopra, si suppone che anche l’obiettivo sia ad immersione) sia “a secco” (sotto). In quest’ultimo caso, lo schema mostra la rifrazione che si verifica alla superficie inferiore del porta-oggetti (frecche rosse) ed a quella superiore del copri-oggetti (frecche verdi).

(Nello schema superiore, lo spazio D si suppone occupato dal liquido d’immersione e dalla lente frontale dell’obiettivo).

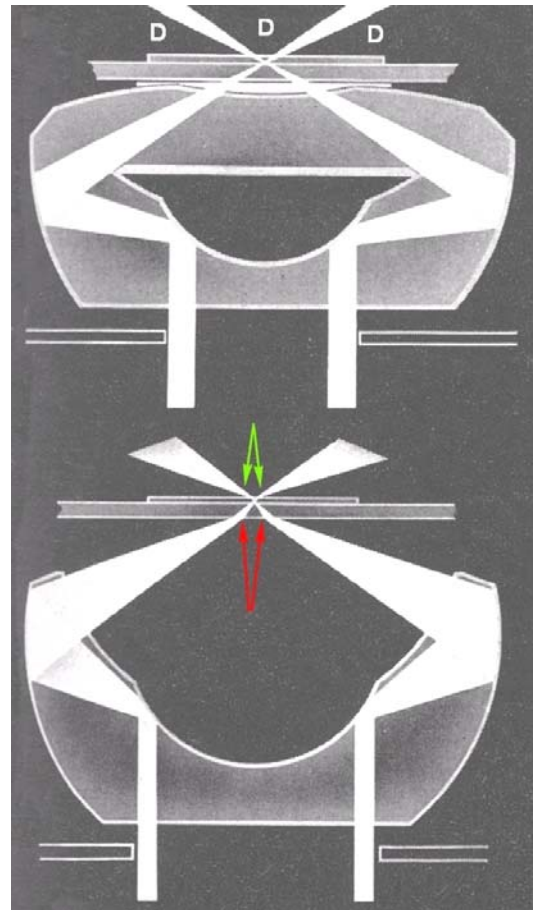
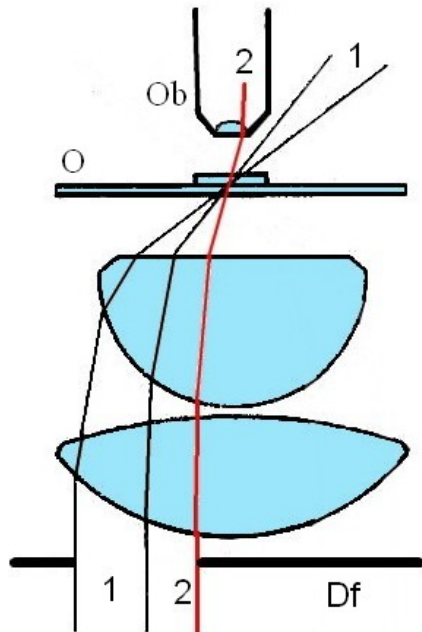


Fig. 8 (sopra) – In casi particolari è utilissimo ricorrere ad un fascio illuminante obliquo: un diaframma decentrato (Df) fornisce un fascio (1 + 2) che sfugge parzialmente all’obiettivo ma non dà fondo scuro poiché in parte esso viene raccolto (riga rossa 2). Il fondo immagine è grigio, ma l’asimmetria dell’illuminazione produce spesso un effetto di rilievo, gradevole certo, ma soprattutto utile per aumentare il contrasto, come si vede qui sotto.

Fig. 9 – Spore di agaricacea. A sinistra, illuminazione in campo chiaro. A destra, l’illuminazione obliqua (vedi la fig. precedente) mostra un forte contrasto con spiccata apparenza di rilievo.

Questo metodo si può realizzare con condensatore speciali, dotati di una piccola cremagliera capace di decentrare il diaframma d’apertura (che andrà molto chiuso) ma, assai più semplicemente, ponendo un cartoncino sotto il condensatore e spostandolo a mano lateralmente.

Obiettivo Zeiss HI 100/1,20.
Oculare 10 ×.

Abbiamo così l’**illuminazione obliqua in diascopia**.

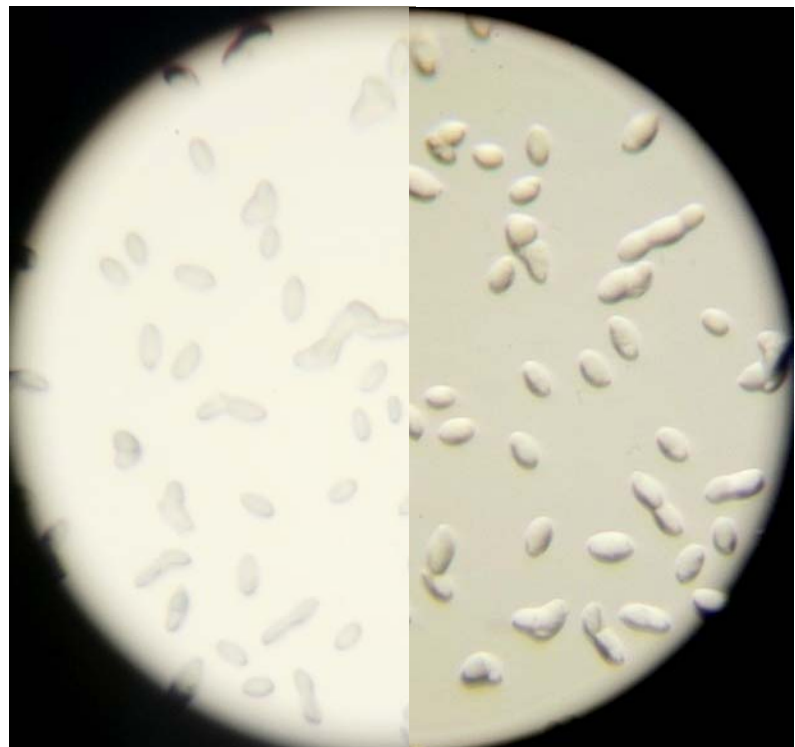


Fig. 10 – Due stativi per diascopia in fondo chiaro, monoculari, a tubo diritto (Meopta, a sinistra) o a tubo inclinato, “a gomito” (Leitz, a destra).

In queste figure, il condensatore è indicato con C.

Nello stativo a destra, una semplice lampada (L) è fissata al piede. In quello a sinistra, si presuppone una sorgente esterna (basta il cielo nuvoloso) la cui radiazione viene riflessa verso il condensatore da uno specchietto orientabile.

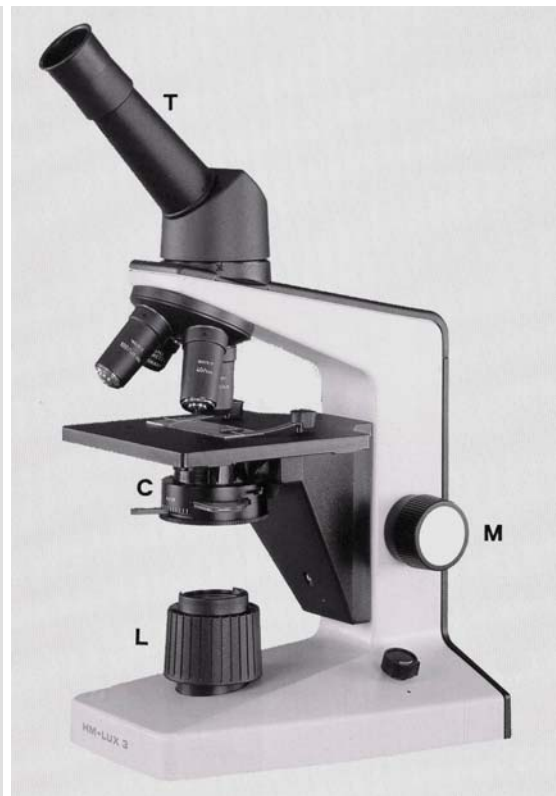
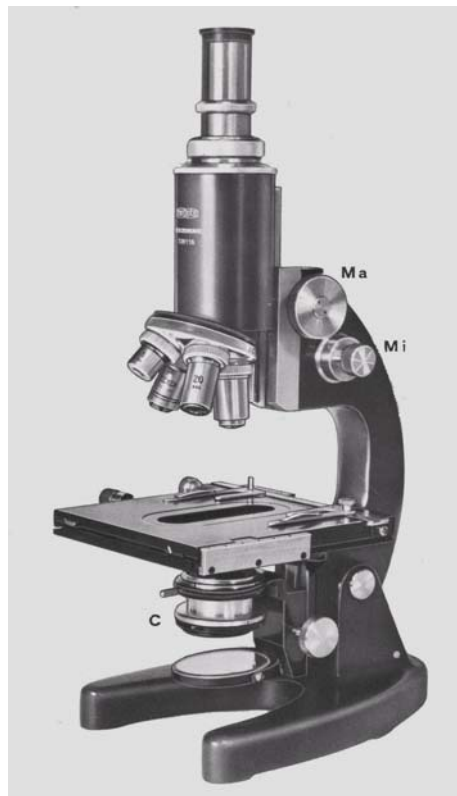


Fig. 11 – Uno stativo della stessa categoria ma bioculare.

Si tratta di uno strumento predisposto per molte funzioni secondarie: canale per la fotografia, sistema di filtri intercambiabili, viti di centratura per il condensatore (C), ecc.

(Prodotto Nikon)



Se l'oggetto è opaco, la diascope non funziona più.

Si passa così alla **EPISCOPIA**: illuminazione dall'alto, “luce riflessa” o “luce incidente” o “illuminazione verticale”. Occorre, come indicato nella fig. 2, illuminare l'oggetto dalla stessa parte da cui lo si osserva.

Il fascio illuminante può convergere sull'oggetto con due inclinazioni differenti.

1) come avviene in diascope, supponendo un oggetto piano, perpendicolare all'asse, più o meno lucido, il fascio 1 (vedi la fig. 2) può provenire da una sezione sferica (A_1) che copre valori di apertura maggiori di quella dell'obbiettivo. Il fascio illuminante è riflesso con la stessa apertura (5, zona A_2) e non può venire raccolto dall'obbiettivo. Il fondo immagine è scuro. Se però, come nel fondo scuro in diascope, l'oggetto diffonde (per rifrazione, riflessione o diffrazione) una parte della radiazione che incide su di esso entro il cono d'apertura dell'obbiettivo, esso apparirà chiaro su fondo scuro: **episcopia in fondo scuro**.

In pratica, si può avere un'illuminazione da un solo lato (**unilaterale**) con una qualunque lampada dotata di un corpo luminoso di piccole dimensioni (escludere quindi le lampade a filamento esteso ed i LED multipli), seguito da una lente convergente (“collettore”); si vedano anche le figg. 39 e 43 a pag. 20/21. Oppure può bastare una di quelle lampadine alogene circondate da uno specchio ellissoidico, chiamate in commercio “dicroiche”⁹, che si trovano di varia potenza (possono bastare 10 W).

Fig. 12 – Un fascio concentrato, convergente, comunque ottenuto, può puntare sull'oggetto da un solo lato. Se l'oggetto non è piano, le sue irregolarità produrranno ombre portate, utili per evidenziarne il rilievo.

Spesso però conviene illuminare l'oggetto da tutti i lati (“**illuminazione omnilaterale**”), ed allora occorre una specie di condensatore capace di creare un fascio conico cavo convergente e coassiale con l'obbiettivo. Tale condensatore dovrà avere la forma di un anello che circonda l'obbiettivo e fornirà un fascio illuminante del tutto separato dal fascio formatore d'immagine che l'obbiettivo dovrà raccogliere.

Molte sono le soluzioni pratiche proposte finora per il condensatore anulare: lenti, specchi o riflessioni interne in qualche lente. Alcuni esempi?

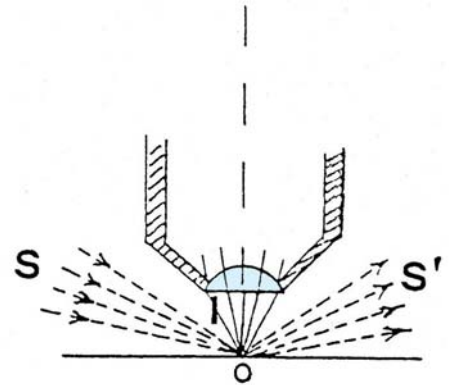


Fig. 13 – La sorgente S, tramite un sistema di lenti (Cl ed L, rappresentate schematicamente per i loro piani principali), produce un fascio cilindrico cavo (1) che viene riflesso concentricamente all'asse dell'obbiettivo (indicato come una semplice lente) da uno specchio anulare a 45° (Sa). Il fascio cilindrico incide su uno **specchio paraboloidico anulare** (Sp) che lo concentra nel proprio fuoco, dove si trova il miglior fuoco anche dell'obbiettivo e, naturalmente, l'oggetto.

Questa ricetta viene spesso usata per gli obbiettivi più forti.

(Prodotto Zeiss Jena)

(In questo schema, **Da** è un diaframma anulare, “2” rappresenta il fascio formatore d'immagine, **Lt** è la “lente di tubo” (vedi oltre, pag. 13–14) ed **ii** è l'immagine intermedia.

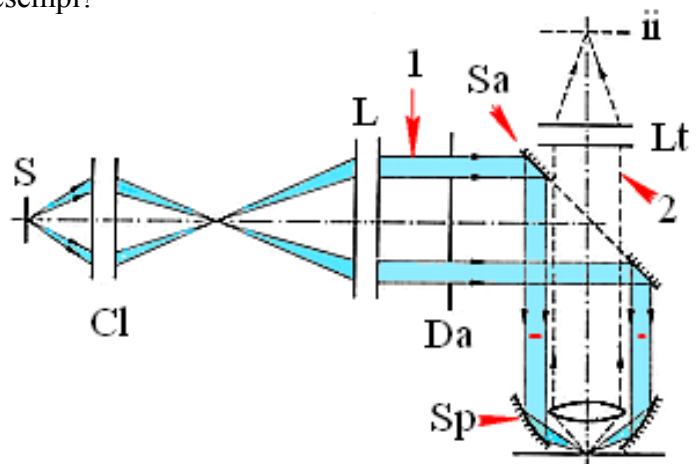
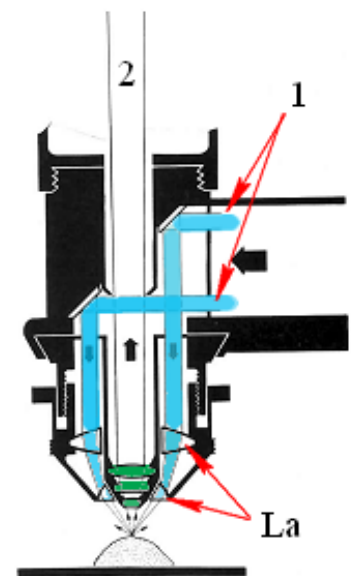


Fig. 14 – In questo caso, il fascio illuminante cilindrico cavo che deve convergere sull'oggetto viene reso convergente da due lenti convergenti anulari (**La**). Anche in questo caso, il fascio cilindrico **1** viene riflesso da uno specchio anulare (di forma ellittica, data l'inclinazione rispetto al fascio).

Il fascio formatore d'immagine (2) prosegue poi verso l'oculare.

(sistema Ultropak, prodotto Leitz)



⁹ Il termine “dicroico” è improprio poiché il dicroismo è un fenomeno legato alla radiazione polarizzata.

Fig. 15 (a destra) – In questo caso, il fascio illuminante (Fi) deve pervenire nell'obiettivo con percorso convergente e diviene divergente dopo il punto di convergenza. Una lente anulare convergente (L) lo rende parallelo e lo porta ad incidere sullo specchio paraboloidico anulare (7), già visto sopra.

In 4 è indicato l'obiettivo centrale, formatore d'immagine.
(Prodotto Leitz)

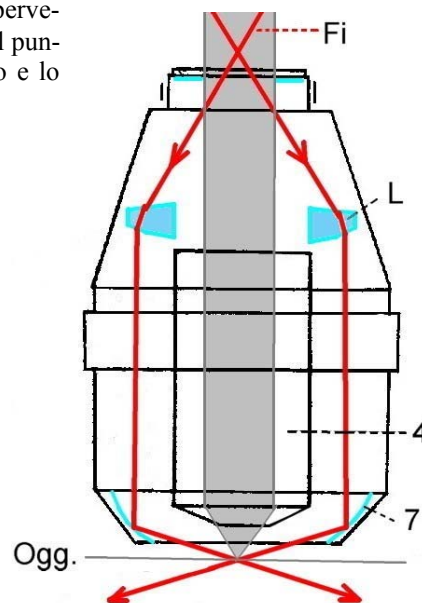


Fig. 16 (sotto) – Aspetto di due obiettivi della serie corrispondente allo schema della figura precedente, voltati all'insù.

In 4 è indicato l'obiettivo. In 7 lo specchio anulare.



Fig. 17 (a destra) – In questo caso, l'obiettivo è voltato all'insù poiché fa parte di uno strumento "rovesciato" (vedi oltre). Il fascio cilindrico (FS) viene riflesso internamente dalla superficie esterna (metallizzata) di una lente anulare (ZP) e poi, dopo un'altra riflessione (questa volta totale) sulla superficie piana inferiore della lente, converge sull'oggetto.

L'obiettivo è indicato solo come lente frontale (LF).

Una parte del fascio cilindrico FS attraversa la zona centrale della lente ZP e prosegue verso il piano oggetto (Fm), ma ciò non disturba. (Prodotto Reichert).

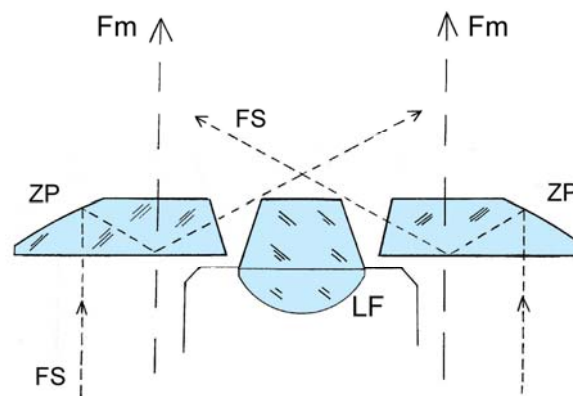


Fig. 18 – In quest'obiettivo Wild il fascio convergente viene ottenuto attraverso due riflessioni interne in una lente anulare a menisco.

Il fascio 1 è il solito cilindrico cavo; il fascio 2 è il formatore d'immagine. Sa è lo specchio anulare piano ellittico.

Questa piccola serie di esempi non pretende certo di esaurire la varietà delle soluzioni che i costruttori hanno escogitato nel corso di un paio di secoli.

NB: l'obiettivo che si trova al centro del condensatore anulare per il fondo scuro si comporta ovviamente come qualunque altro obiettivo episcopico se lo si usa in campo chiaro (vedi sotto).

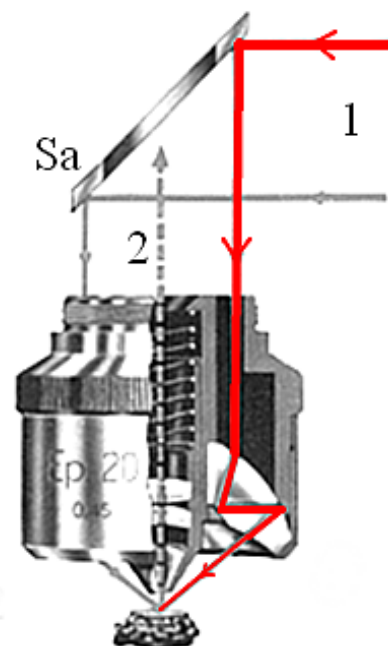


Fig. 19 – Visto da sopra, un obiettivo episcopico per fondo scuro mostra, al centro, l'obiettivo vero e proprio e, tutto intorno, la corona trasparente del condensatore anulare.

L'obiettivo al centro è sorretto in genere da tre bracci rigidi che lo tengono in posizione rispetto alla montatura generale.

(Vedi la fig. 14)

(Sistema Ultropak Leitz)



Fig. 20 – Gli obiettivi come quello della fig. 18 vengono montati su un revolver di tipo normale. In ognuno di essi si vedono l'obiettivo al centro ed il cilindro esterno che porta il condensatore anulare.

Il filetto della vite di fissaggio in questo caso è M30 (30 mm di diametro esterno).

(Stativo M20 epi della Wild)

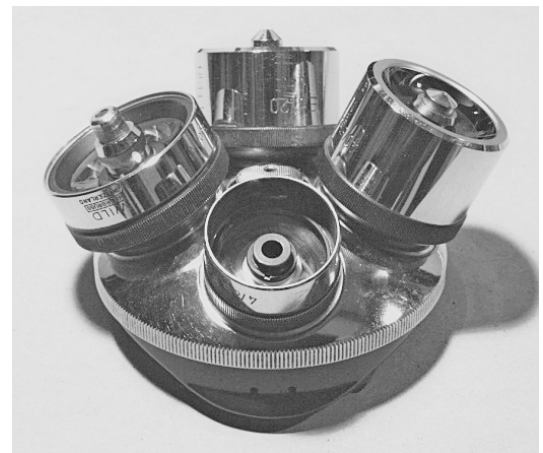


Fig. 21 – L'obiettivo della fig. 14 va invece inserito singolarmente in una guida trapezoidale che porta lateralmente (a sinistra nella figura) una parte del sistema illuminante alimentato dalla microlampada che si vede in alto a sinistra (quella inferiore serve per la diascopia).

(Sistema Ultropak della casa Leitz, su stativo Ortholux)

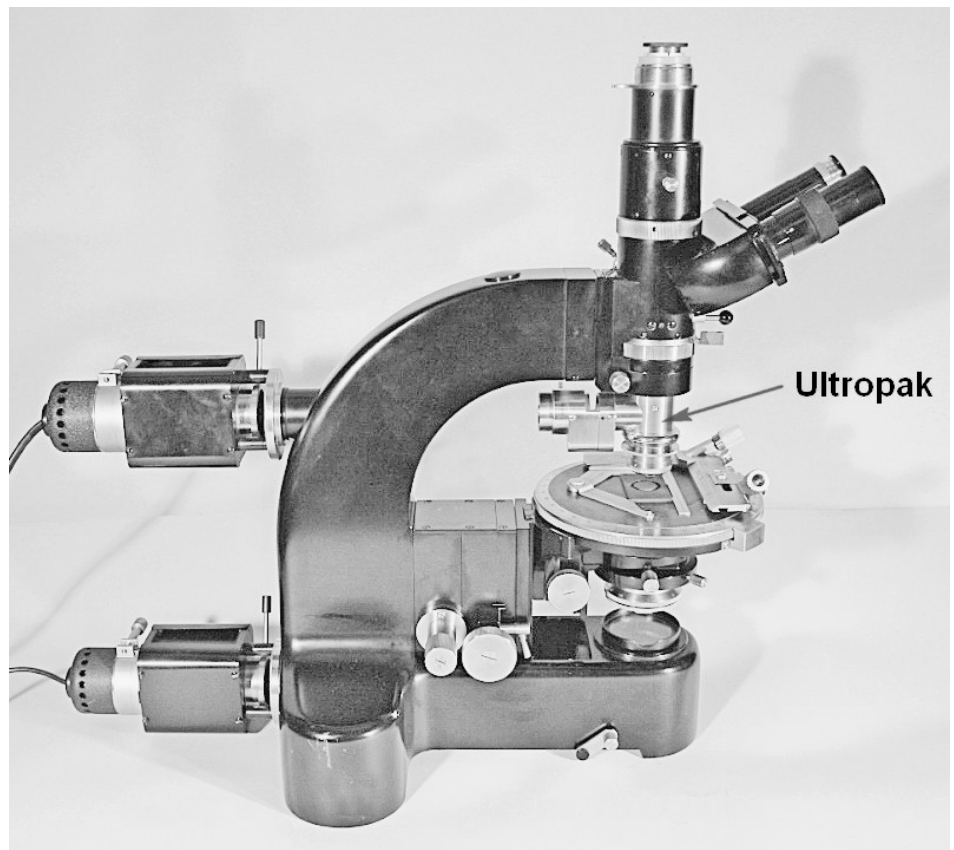
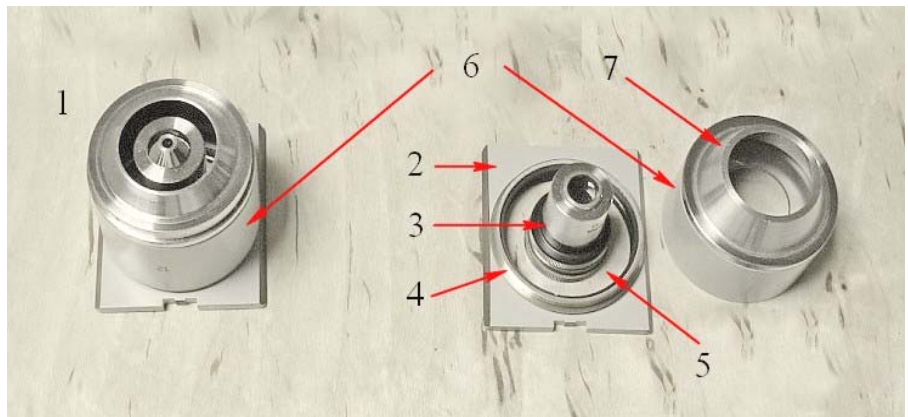


Fig. 22 – A sinistra, un obiettivo completo “epi” in fondo scuro della casa Zeiss di Jena. A destra, smontato. Questi obiettivi sono costituiti da un obiettivo per fondo chiaro (3) montato su un anello di vetro (5), a sua volta incastonato in una piastra rettangolare con i bordi a coda di rondine (2). Attorno all’obiettivo, un cilindro (6), avvitato sul filetto 4, porta lo specchio paraboloidico (7).



(Fig. 2)

2) Come altro metodo, più semplice, di episcopia, si può illuminare un oggetto opaco anche in campo chiaro; occorre utilizzare un fascio illuminante compreso entro il fascio B (raggio 2), che è il fascio di apertura utile dell’obiettivo: il fascio illuminante attraversa l’obiettivo. L’oggetto come sopra definito (piano e perpendicolare all’asse) rifletterà il fascio illuminante entro la stessa apertura (3), l’obiettivo lo riceverà ed il fondo immagine apparirà illuminato: **episcopia in fondo chiaro**. I dettagli dell’oggetto possono disperdere una parte del fascio illuminante e quindi appariranno scuri su fondo chiaro.

Segue qualche schema per l’episcopia in fondo chiaro.

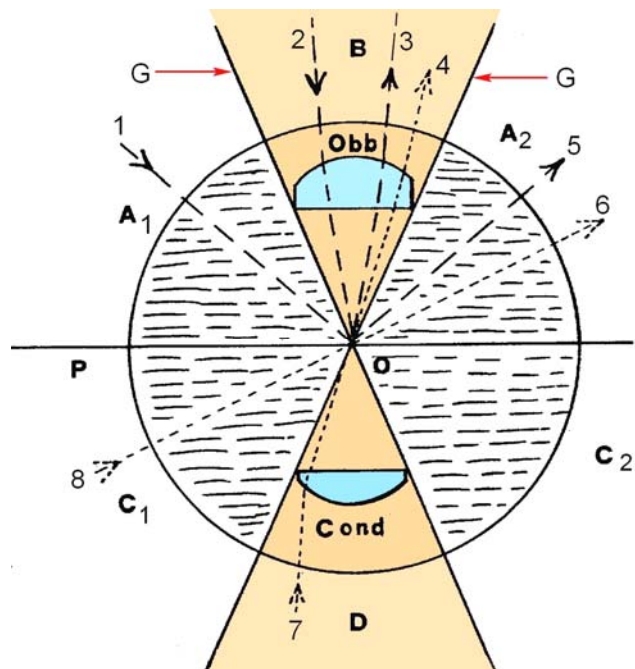


Fig. 23 – Per l’episcopia in fondo chiaro occorre un fascio illuminante che provenga da sopra, attraverso l’obiettivo (2 nella fig. 2, riportata qui sopra).

Lo schema più usato è quello qui a destra, che si spiega da solo: il fascio illuminante proviene orizzontalmente ed incide su uno specchio semi-riflettente (E); metà del fascio (nel caso fotometricamente ottimale) prosegue e va perduto; la metà riflessa provvede ad illuminare l’oggetto, viene da esso riflessa, attraversa di nuovo lo specchio, ne perde un’altra metà (il rendimento finale sarà del 25%, meno le perdite per riflessioni spurie, assorbimento, ecc.) e ciò che resta provvede a formare il campo immagine. Ecco perché in episcopia l’illuminazione dell’oggetto è spesso scarsa.

La presenza della lamina inclinata (E) sull’asse, con la superficie semi-riflettente depositata su una delle sue facce, introduce nell’immagine un leggero astigmatismo, che viene generalmente tollerato.

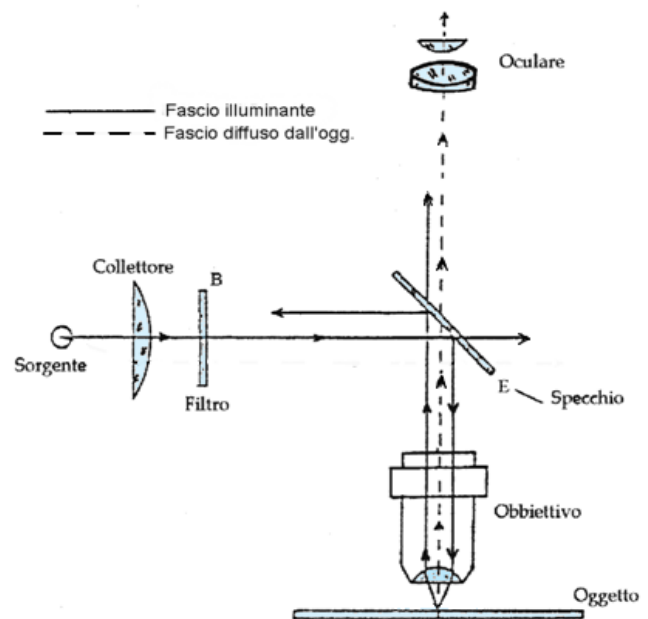


Fig. 24 – La superficie semi-riflettente è ricavata da una superficie diagonale (P) all'interno di un prisma cubico. Questo elimina il problema dell'astigmatismo citato nella didascalia precedente. Si noterà che le due superfici orizzontali non sono perfettamente perpendicolari all'asse: ciò viene fatto affinché i fasci riflessi da quelle superfici cadano sulle pareti laterali del tubo e non rientrino nell'immagine, il che porterebbe ad una perdita di contrasto.

Questa ricetta è ancora largamente utilizzata.

(NB: Il fascio 1-3 è quello illuminante; la frazione 2 va perduta. Il fascio 4-6 è quello che forma l'immagine intermedia; la frazione 5 torna verso la sorgente e va perduta.)

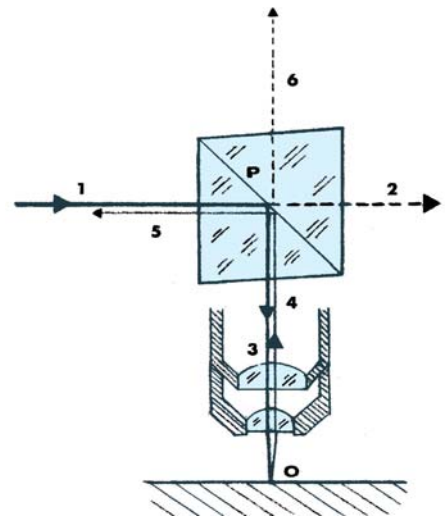
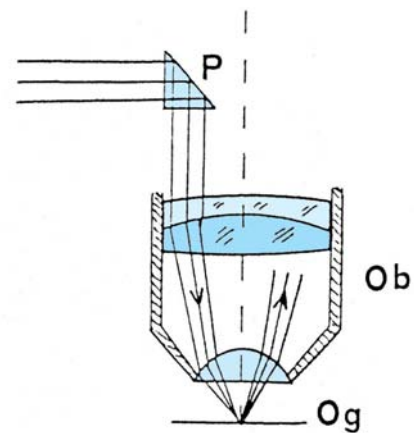


Fig. 25 – Una ricetta ormai desueta consiste nel far penetrare il fascio illuminante orizzontalmente da un lato, per poi riportarlo verso una regione marginale delle lenti dell'obbiettivo per opera di un piccolo prisma a triangolo rettangolo (P), che opera in riflessione totale.

Naturalmente, si ha ancora episcopia un fondo chiaro.

In certi casi questa disposizione fornisce un miglior contrasto.



Visto da fuori, un microscopio per l'episcopia in fondo chiaro non differisce da un microscopio normale, se non per due caratteristiche: – gli obiettivi presentano un parametro particolare, che chiariremo subito sotto; – occorre un sistema illuminante che sia diretto verso il tubo subito sopra l'obbiettivo ed illumini quest'ultimo tramite uno specchio od un prisma. E questo può avere molte differenti versioni costruttive.

In ogni caso, nel metodo dell'episcopia in fondo chiaro, il fatto di inviare un fascio illuminante da sopra, in modo da attraversare tutte le lenti dell'obbiettivo, crea sempre una perdita di contrasto poiché ad ogni superficie aria-vetro una parte del fascio illuminante viene riflessa all'insù e concorre a formare un velo di luce parassita nell'immagine finale.

Pertanto, le osservazioni in episcopia in campo chiaro mostrano sempre un basso contrasto.

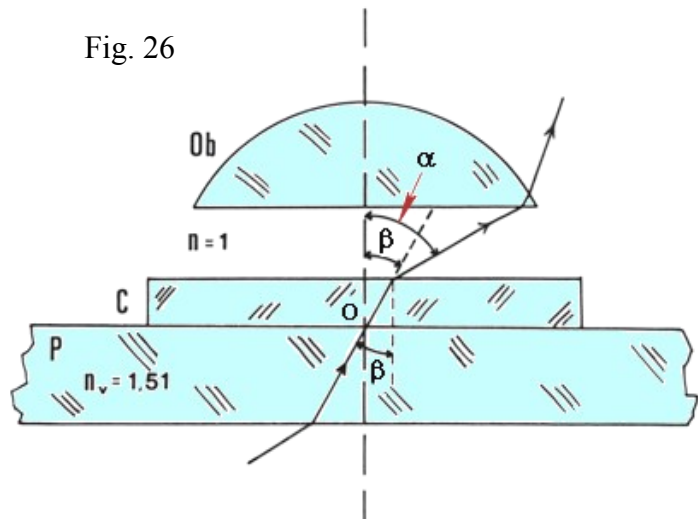
Solo con particolari accorgimenti il costruttore può ridurre questo dannoso fenomeno (trattamenti anti-riflettenti molto curati, geometria del sistema che consente di allargare i fasci riflessi affinché vadano a cadere fuori dal fascio utile, ecc.). In fondo scuro, invece, questo problema non si presenta.

Il COPRI-OGGETTO (o "lamella")

Dalla fig. 12 in poi, trattando di episcopia, è sempre stato raffigurato uno schema in cui l'oggetto non è coperto da un vetrino copri-oggetto. Questo ha una ragione precisa.

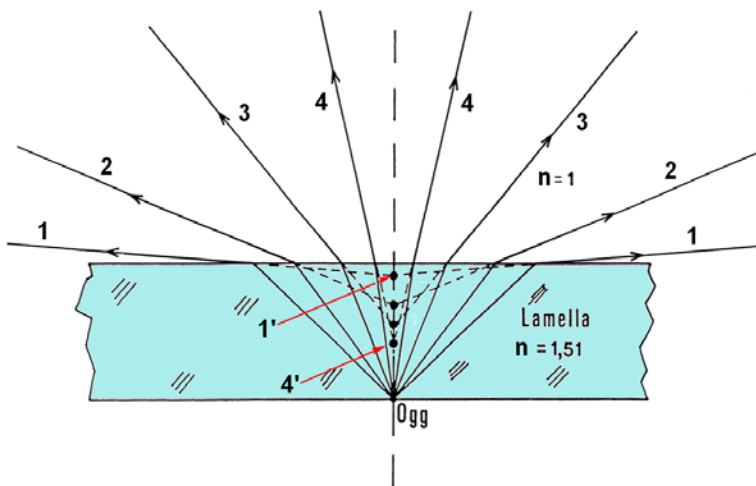
Nel calcolo della ricetta dell'obbiettivo occorre tener conto dell'eventuale presenza od assenza del copri-oggetto. Infatti esso, interponendosi fra oggetto ed obbiettivo, viene a far parte del sistema ottico di quest'ultimo ed il progettista deve tenerne conto.

Fig. 26



Nella figura qui sopra (fig. 26) è schematizzato un normale preparato per diascopea in cui l'oggetto (O) è poggiato su un porta-oggetto (P) ed è coperto da un copri-oggetto (C). Se l'obiettivo è "a secco" s'intuisce che, alla superficie di separazione copri-oggetto/aria ed a quella aria/lente frontale dell'obiettivo, avviene una rifrazione che, in luce bianca, introduce qualche aberrazione cromatica per via della dispersione dell'indice. Inevitabile sarà anche l'aberrazione sferica come appare dalla figura seguente.

Fig. 27 – Da un punto oggetto (Ogg) possono emergere raggi in tutte le direzioni; i più inclinati (1), alla superficie vetro aria, sono deviati più di quelli meno inclinati (4). Se si tracciano i prolungamenti all'indietro dei raggi emergenti (linee tratteggiate), si vede che i punti d'incontro dei raggi a diversa apertura (1' e 4' ad es.) s'incontrano a diversa altezza. È come dire che la posizione del fuoco dipende dall'apertura: carattere distintivo dell'aberrazione sferica. Per un dato punto oggetto (Ogg) l'obiettivo che sta sopra al vetrino "vede" differenti immagini (virtuali) di quel punto a diversa altezza (es. 1' e 4').



Questo significa che la correzione totale dell'obiettivo deve comprendere anche l'effetto del copri-oggetto.

Ebbene, nel caso dell'episcopia in fondo chiaro, il fascio illuminante che incide sull'oggetto dall'alto provoca un riflesso in senso opposto che rientra nell'obiettivo e crea luce diffusa e perdita di contrasto. Avremo un diverso riflesso per ogni superficie di ogni lente e per la superficie superiore del copri-oggetto, supposto che quest'ultimo aderisca all'oggetto tramite un adesivo con indice simile a quello del vetro (altrimenti si avrebbero altre riflessioni).

Il cattivo contrasto dato dall'episcopia in fondo chiaro, già citato, richiede quindi che la superficie dell'oggetto sia priva di copri-oggetto per eliminare almeno quel contributo.

Se non che i normali preparati per la diascopea (sezioni sottili, strisci di cellule, ecc.), per proteggere l'oggetto e per offrire all'obiettivo una superficie piana (in senso ottico), sono sempre ricoperti da un sottile strato di vetro, il copri-oggetto o "**lamella**".

Gli obiettivi per diascopea sono dunque generalmente calcolati tenendo conto della lamella, il cui spessore è standardizzato su 0,17 mm, con tolleranza sempre più stretta via via che aumenta l'apertura dell'obiettivo. Se però l'uso della lamella è sconsigliato in episcopia – si tratta spesso di oggetti solidi che non richiedono d'altra parte una protezione particolare – occorre che l'obiettivo episcopico sia calcolato per oggetti NON coperti da lamella.

Nella notazione, si troverà, accanto all'ingrandimento, all'apertura ed alla lunghezza del tubo, la cifra 0,17 (oppure $d = 0,17$) per gli obiettivi diascopici e "0" (oppure $d = 0$) per gli obiettivi episcopici. Quelli indicati con "DO" o con "-" sono indifferenti alla presenza o assenza della lamella poiché la loro apertura è troppo bassa: visto che l'aberrazione sferica cresce col cubo dell'apertura, risulta che, per aperture d'obiettivo inferiori a circa 0,3, la presenza od assenza di lamella non produce effetti percettibili; per obiettivi più forti non è consigliabile usare gli obiettivi $d = 0,17$ per preparati nudi, né obiettivi $d = 0$ per oggetti coperti di lamella. Il risultato di questi incroci sarebbe una perdita di definizione per insorgenza di varie aberrazioni.

Ecco dunque spiegato perché i microscopi episcopici non sono intercambiabili con quelli diascopici: sia per il sistema illuminante, sia per il tipo di obiettivi.

Alcune note a margine

– Se si vuole osservare un oggetto opaco con un obiettivo diascopico forte ($d = 0,17$), a parte il problema dell'illuminazione, basta incollare (con una goccia d'olio per immersione) una lamella sull'oggetto e tutto dovrebbe andare liscio, almeno per oggetti piani. In campo chiaro si

avrà ovviamente da sopportare un riflesso sulla lamella.

– Gli obiettivi ad immersione omogenea (“HI”, “olio”, “imm.”) sono in genere progettati supponendo che, fra oggetto ed obiettivo, si trovi sia la lamella che l’olio d’immersione. L’eventuale assenza della lamella dovrebbe essere però influente. L’olio, infatti, possiede in genere caratteristiche ottiche (indice, dispersione, omogeneità, trasparenza, ecc.) simili a quelle del vetro ottico e l’osservazione si può eseguire con solo olio fra obiettivo ed oggetto. Negli esami di routine su preparati in gran numero l’eliminazione della lamella sveltisce così il lavoro.

– Gli obiettivi diascopici “ad immersione in acqua” (“wasser” o “W”) sono invece calcolati per essere immersi direttamente in un mezzo acquoso (culture di cellule o microrganismi).

– Il termine “microscopio biologico”, entrato nell’uso corrente, dovrebbe essere riservato ai microscopi diascopici in campo chiaro o scuro, dedicati in genere all’esame di materiale biologico. Monoculari o bioculari, poco importa, ma da usare con preparati coperti da lamella.

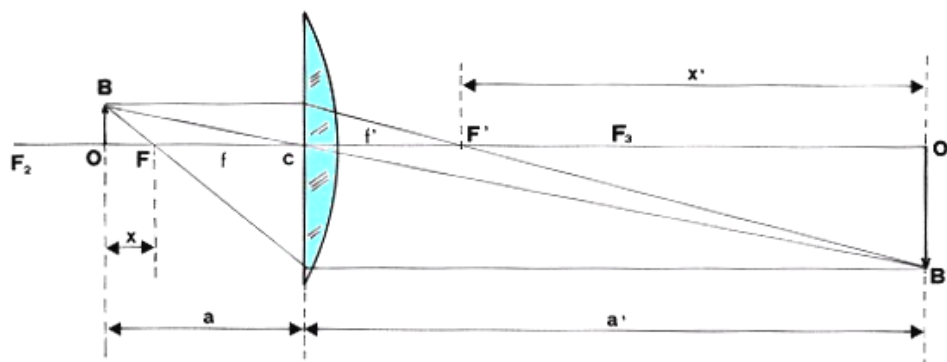
La SECONDA CONIUGATA FINITA o INFINITA

Un obiettivo da microscopio di solito viene fatto lavorare come sistema convergente in cui un oggetto viene posto un po’ prima del primo fuoco e l’immagine si forma oltre il secondo fuoco, reale, ingrandita e rovesciata, secondo la figura seguente¹⁰.

Fig. 28 – Il primo fuoco della lente convergente è F; il secondo è F’.

L’oggetto OB è coniugato con la sua immagine reale O’B’.

Il fascio che forma l’immagine diverge fra oggetto e lente e converge fra lente ed immagine.

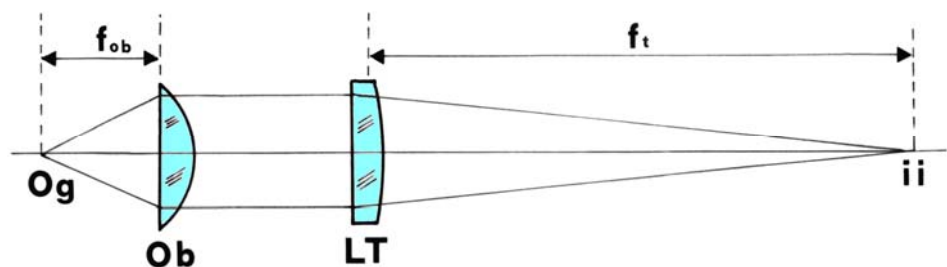


In questo schema, tuttora molto diffuso, la “seconda coniugata” della lente, indicata con **a’**, ha una dimensione finita. Si dice che l’obiettivo è “**a** (seconda) **coniugata finita**”. Il valore di **a’** dipende dalle caratteristiche geometriche ed ottiche dello strumento ed il progettista deve tenerne conto, poiché da esso dipende l’ingrandimento, la correzione di molte aberrazioni, ecc.

Ma c’è una limitazione: se s’interpone, fra obiettivo ed oculare un oggetto a facce piane e parallele (filtri, prismi per l’episcopia (fig. 24), prismi polarizzanti, ecc.) si verifica uno spostamento dell’immagine ed una perdita del fuoco¹¹.

Per evitare questo, da tempo, sono stati introdotti gli obiettivi “**a** (seconda) **coniugata infinita**” o, semplicemente “all’infinito”, secondo lo schema della figura seguente.

Fig. 29 – L’oggetto (Og) si trova ora esattamente nel primo fuoco della lente (Ob): per ogni punto di esso emerge dalla lente un fascio parallelo, capace di dare un’immagine virtuale/reale a distanza infinita.



¹⁰ Vedi, nel sito www.funsci.it, sezione “Microscopia ottica”, il manuale “Problemi tecnici della microscopia ottica”, cap. 2.6.2.4, pag. 38, fig. 13.

¹¹ Si tratta del fenomeno dell’“avanzamento d’immagine” (vedi, sempre in questo sito, nel manuale “Problemi tecnici della microscopia ottica”, il cap. 3.2, pag. 44, formula 16).

In questo schema, l'obiettivo fornisce un'immagine, che si può considerare sia reale che virtuale (a distanza infinita, chi va a controllare?) e non sarebbe di per sé utilizzabile. Sopra l'obiettivo si pone allora una debole lente convergente la quale, per essere incastonata nel tubo, si chiama "**lente di tubo**" (LT nella figura precedente). Per ragioni di ottica elementare, tale lente fa convergere il fascio nel proprio secondo piano focale, esattamente là dove si deve formare l'immagine intermedia (**ii** nella figura), quindi nel primo fuoco dell'oculare.

La seconda coniugata dell'obiettivo è allora "infinita", ma l'immagine intermedia si forma lo stesso, al posto giusto.

Ebbene, nello spazio fra obiettivo e lente di tubo (spazio giallo nella figura seguente), per ogni punto dell'oggetto si propaga un fascio parallelo ("telecentrico"), ed in queste condizioni l'introduzione di una lamina a facce parallele non produce effetti apprezzabili¹².

Sono quindi da distinguere gli strumenti "a (seconda) coniugata finita" da quelli "all'infinito". I secondi debbono contemplare una lente di tubo di caratteristiche coerenti con tutte le altre parti del sistema e gli obiettivi debbono essere progettati in funzione di quella. Nessuna possibilità d'interscambio. Ad ogni obiettivo (o serie di obiettivi) la SUA lente di tubo¹³.

L'ingrandimento di un obiettivo "**a coniugata finita**" va indicato con una cifra semplice o con una cifra seguita da "1". Per quelli "**all'infinito**" l'ingrandimento va indicato con un numero seguito dal segno di moltiplicazione "per": \times (che non è la lettera "x"). Ma va sempre tenuto presente che tale valore è reale solo su uno stativo contenente una certa lente di tubo in una certa posizione, con una data focale. Usare quell'obiettivo su uno stativo diverso, può significare alterarne l'ingrandimento e le correzioni.

Inoltre, su quell'obiettivo non andrà indicata la lunghezza di tubo "finita" (160, 170 mm o altro) ma quella infinita, col segno matematico " ∞ ".

Abbiamo quindi due categorie di strumenti e di obiettivi con prestazioni simili, ma senza intercambiabilità.

Le due categorie possono presentarsi in versione monocolare o biocolare, diascopica, episcopica, a fondo chiaro o fondo scuro.

NB: l'ingrandimento di un obiettivo all'infinito è dato dal rapporto fra la focale della lente di tubo e quella dell'obiettivo: non è un carattere del solo obiettivo.

Fig. 30 – Visto da fuori, i due modelli di microscopio non si distinguono. La differenza sta nella presenza della lente di tubo e nella ricetta dell'obiettivo.

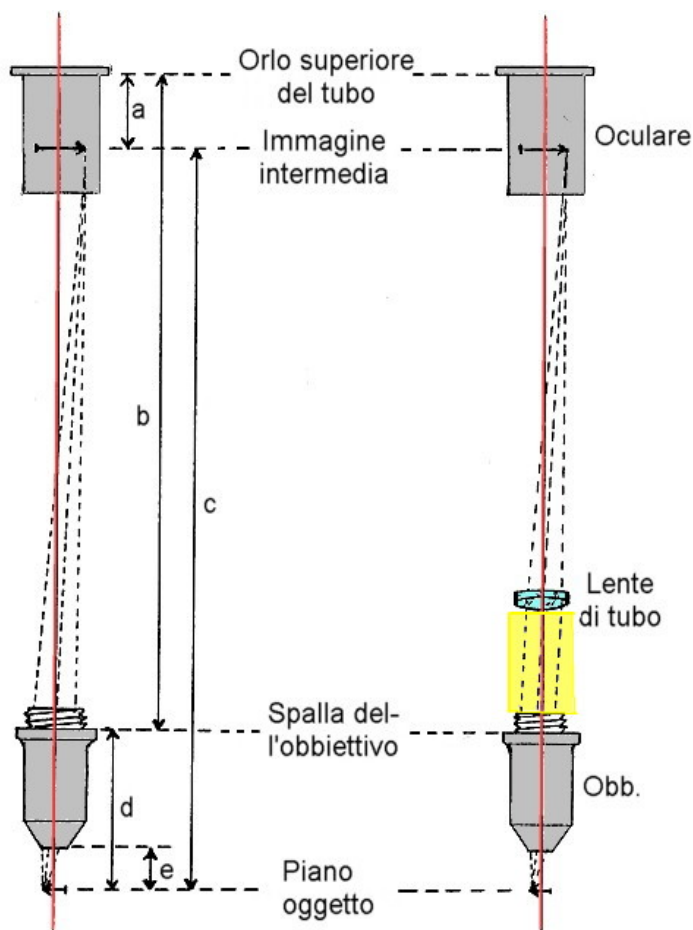
"a" definisce la posizione dell'immagine intermedia.

"b" rappresenta la lunghezza meccanica del tubo (Lm).

"c" è la distanza totale oggetto-immagine.

"d" rappresenta la lunghezza ottica dell'obiettivo (Lo).

"e" rappresenta la distanza di lavoro dell'obiettivo (WD = working distance).



¹² In realtà, qualche limitazione c'è; vedi, in questo sito, l'art. n° 38, che tratta diffusamente degli obiettivi "all'infinito". In quella sede si è precisato anche che ...

"La struttura a seconda coniugata infinita facilita l'intercambiabilità degli accessori e la costruzione di strumenti a struttura modulare. È una comodità per il costruttore, più che per l'utilizzatore. **Le prestazioni essenziali dell'obiettivo** (risoluzione, definizione, contrasto, campo) **non c'entrano**: dipendono solo dal progetto e dalla sua realizzazione. Sul piano teorico, nessuna delle due categorie di obiettivi può pretendere un primato.

¹³ In realtà, si tratta spesso, ma non sempre, di semplici doppietti acromatici.

STATIVI DIRITTI e ROVESCIATI (sempre mono-obiettivo)

C'è microscopio e microscopio... Dal punto di vista strutturale si può fare un'altra distinzione.

La maggioranza degli strumenti è concepita con un obiettivo ad asse verticale che “guarda” verso il basso su un oggetto poggiato su un piano d'appoggio detto “tavolino” in posizione orizzontale. L'apparato illuminante sta sotto il tavolino (“substage” degli autori inglesi) ed illumina l'oggetto da sotto, in diascopea.

In casi particolari conviene fare il contrario: l'obiettivo è voltato all'insù, il tavolino è ancora orizzontale con un foro al centro e l'oggetto è poggiato sul tavolino; l'obiettivo lo guarda da sotto attraverso quel foro. Per la diascopea, una lampada dovrà illuminare l'oggetto da sopra.

Meccanicamente, lo strumento è tutto ribaltato, ma otticamente non cambia molto. Semmai, poiché l'obiettivo fornisce un fascio formatore d'immagine diretto verso il basso, occorrerà uno specchio od un prisma per riportare il fascio verso l'alto, verso gli oculari.

I microscopi “rovesciati” possono essere monoculari o bioculari, diascopici od episcopici, in fondo chiaro o fondo scuro, a coniugata finita o infinita. A parte il cammino ottico ripiegato, nulla li distingue da quelli diritti, se non fosse per la struttura meccanica.

Nel caso degli episcopici, ovviamente, la lampada dovrà stare presso l'obiettivo, quindi sotto il tavolino.

Fig. 31 (a destra) – Un esempio di “rovesciato” diascopico. La lampada (1) contempla i normali accessori, come una slitta porta-filtri.

Il condensatore (2) porta un disco porta-diaframmi per il contrasto di fase. Il tavolino (3) è mosso da due manopole coassiali (4), che sono ribassate per consentire di tenere l'avambraccio sul tavolo.

L'obiettivo (5) è invisibile, nascosto sotto il tavolino.

In 6 è il tubo bioculare. In 7 una microcamera, collegata ad un'apposita “porta” laterale.

(Prodotto Nikon)

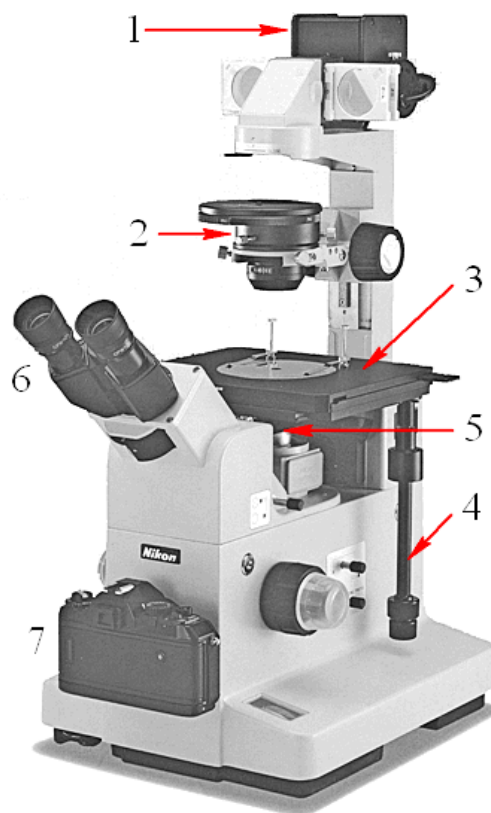
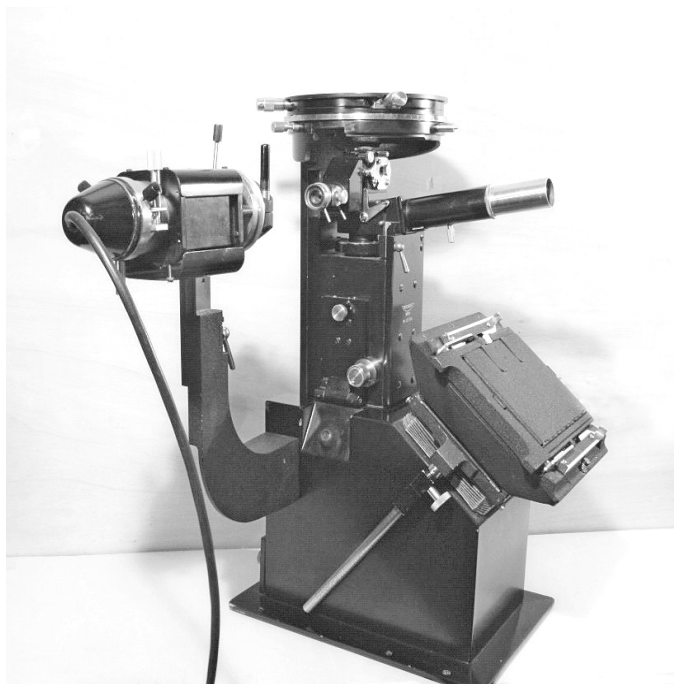


Fig. 32 (a sinistra) – Un rovesciato episcopico di vecchia data (Reichert, mod. MeF 1). In alto il tavolino. A sinistra, in alto, la microlampada episcopica.

A destra, il tubo d'osservazione, monocular.

In basso, a destra, lo chassis per lastre fotografiche.

Questo stativo è specialmente previsto per l'osservazione di provini metallografici o comunque oggetti opachi.

(vedi, in questo sito, la scheda tecnica n° 18)

L'utilità degli stativi rovesciati dipende dall'uso.

In **diascopia**, dovendo osservare micro-acquari, cuvette¹⁴ o piccoli recipienti contenenti culture di cellule, batteri o microrganismi, è bene osservarli da sotto poiché molte cellule e microrganismi tendono a cadere sul fondo.

Questo significa che l'obbiettivo deve osservare l'oggetto attraverso il fondo del recipiente – spesso si usano “scatole di Petri”, dischi ad orlo rialzato – e non sempre tale fondo ha le caratteristiche ottiche necessarie (spessore, omogeneità, pianeità delle superfici, ecc.). In questo caso, per dare maggiore tolleranza all'obbiettivo, si usano sistemi a basso ingrandimento e bassa apertura, oppure recipienti speciali con fondo otticamente adatto allo scopo. Modernamente, sono in uso piastre in materia plastica con numerosi pozzetti, ottenuti per stampaggio, con caratteristiche ottiche migliorate.

In **episcopia**, dovendo osservare oggetti solidi di forma irregolare, da cui sia stata ricavata una superficie piana e lucida (provini metallografici, campioni di rocce o fossili, carboni, ecc.), è comodo poggiare la faccia piana del campione voltata all'ingiù su un tavolino orizzontale, senza curarsi della forma o dello spessore dell'oggetto.

Molti microscopi metallografici sono del tipo rovesciato, come quello della figura precedente.

Nota: a tutti i modelli descritti finora, diascopici, episcopici, a fondo chiaro e scuro, con obiettivi a coniugata finita o infinita, è generalmente possibile applicare gli accessori per l'uso delle tecniche speciali: contrasto di fase (vedi gli artt. n° 25 e 33), polarizzazione (artt. “Introduzione alla microscopia in radiazione polarizzata”, e n° 7, 16 e 35), contrasto interferenziale (art. n° 17), fluorescenza (art. n° 42), ecc.

Certamente, l'applicazione del contrasto di fase all'episcopia crea qualche problema tecnico su cui non possiamo entrare in questa sede, ma generalmente questo dispositivo è sostituito per l'episcopia dal contrasto interferenziale.

MICROSCOPI a PROIEZIONE

In certi casi, si preferisce proiettare l'immagine finale del microscopio su uno schermo, invece che raccogliercela tramite un oculare per l'osservazione diretta.

L'immagine finale in questo caso si può ricavare direttamente dall'obbiettivo (che dovrà essere già corretto dalle aberrazioni, rinunciando alla compensazione dell'oculare) oppure ottenuta da un oculare normale o “proiettivo”, specialmente progettato per quest'uso.

La proiezione può avvenire “da dietro”, su uno schermo smerigliato o comunque diffondente, magari accompagnato da una lente di Fresnel per aumentarne l'omogeneità della brillantezza, oppure su uno schermo opaco e diffondente, “murale”. Nel primo caso si consentirà l'osservazione ad una sola persona, nel secondo, ad un pubblico anche numeroso.

Oggi, con l'uso di una telecamera e di uno schermo televisivo, la micro-proiezione ha perso di utilità, se non altro perché richiede sorgenti molto forti, che facilmente danneggiano l'oggetto. Si veda, sempre in questo sito, la scheda tecnica n° 99.

MICROSCOPI STEREOSCOPICI, a doppio obiettivo

Abbiamo detto a suo tempo che in un microscopio mono-obbiettivo l'eventuale tubo bioculare presenta nei due oculari due immagini identiche, incapaci di darci la sensazione del rilievo. Per ottenere questo “rilievo” occorre allora una coppia di microscopi, identici, uno per occhio, che guardano lo stesso oggetto da due punti di vista diversi, due microscopi i cui assi convergono verso l'oggetto, supposto che questo si trovi nel piano di miglior fuoco di entrambi i microscopi. Parliamo naturalmente di due microscopi composti, con tanto di oculare ed obiettivo.

¹⁴ Cuvetta, nel significato di vaschetta, è un francesismo.

Nella figura che segue è illustrato il concetto appena esposto: due sistemi identici che puntano sullo stesso oggetto, come in un binocolo. Questo giustifica il termine **binoculare** (non bioculare, come già chiarito). Il fatto di poter ottenere una sensazione del rilievo dell'oggetto, la percezione della terza dimensione, spiega il termine **stereoscopico** (dal greco: "stereon" = solido, a tre dimensioni)¹⁵.

Fig. 33 – Schema essenziale di un microscopio stereoscopico.

Due microscopi identici (M – M') sono orientati in modo che i loro assi s'incrociano in un punto (O) che rappresenta anche il punto di miglior fuoco per entrambi i "canali".

Anche se l'oggetto è piano, le due immagini saranno diverse.

L'angolo σ fra i due assi è detto "angolo di stereo" e corrisponde all'incirca all'angolo fra gli assi dei nostri occhi quando osserviamo un oggetto dalla distanza convenzionale di 250 mm.

In altre parole, lo strumento cerca di offrire una visione quanto più possibile vicina all'osservazione diretta.

WD (= "working distance") è la distanza di lavoro.

Questo primo schema presuppone allora due sistemi e due obiettivi indipendenti; esso prende il nome da un autore americano (Horatio S. **Greenough**, 1892) e permette di raggiungere i migliori risultati in fatto di definizione.

Dato il valore obbligato dell'angolo di stereo, il diametro degli obiettivi è limitato dal fatto che essi non possono compenetrarsi. Ciò impone un limite anche all'apertura che, indipendentemente dalla focale (e dall'ingrandimento) dell'obiettivo non supera in genere il modesto valore di 0,1.

A causa dei limiti del cosiddetto "ingrandimento a vuoto"¹⁶, l'ingrandimento di questo tipo di stereoscopico non può quindi superare $100 \times$ (1.000 volte l'apertura).

La modesta apertura consente per contro un'elevata profondità di fuoco ed un'elevata distanza di lavoro, fino a molti centimetri. Queste due caratteristiche consentono di osservare facilmente anche oggetti con forte rilievo e grandi dimensioni; tali oggetti potranno generalmente essere manipolati colle mani, orientati in ogni verso e messi a fuoco senza particolari accorgimenti. Solo con gli ingrandimenti maggiori sarà necessario usare un meccanismo di messa a fuoco.

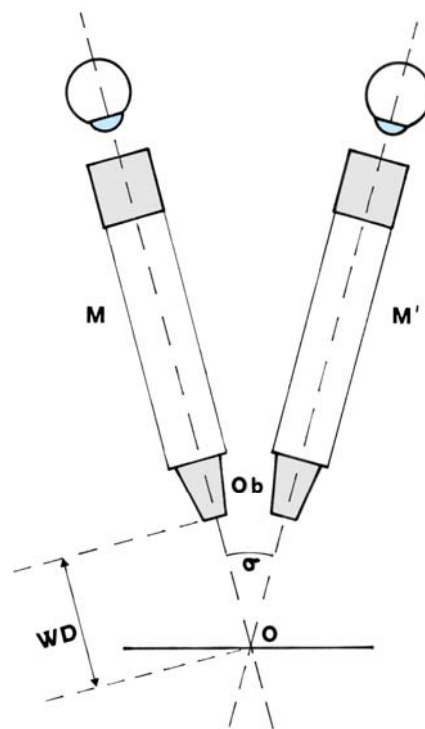
Tale meccanismo sarà generalmente di tipo "veloce" o "macrometrico" – raramente è previsto anche un movimento micrometrico.

La manipolazione dell'oggetto colle mani o qualunque intervento su di esso riescono meglio se l'immagine, invece che rovesciata come avviene nei più comuni strumenti mono-obiettivo, sarà raddrizzata rispetto l'oggetto ("immagine diritta"). Per ottenere ciò si ricorre a vari sistemi, generalmente costituiti da una doppia "scatola dei prismi" in cui, come avviene nei binocoli "prismatici", l'immagine viene raddrizzata per opera di riflessioni multiple su quattro specchi o riflessioni interne su prismi di varia foggia.

Questo schema sec. **Greenough** offre un inconveniente: un oggetto piano come schematizzato nella figura precedente può risultare a fuoco solo lungo un diametro del suo campo (diametro perpendicolare al piano degli assi ottici), mentre i punti a lato di quel diametro saranno troppo vicini o troppo lontani dall'obiettivo e quindi risulteranno sfocati. Questo schema è quindi più adatto ad oggetti di forma convessa.

Per contro, quello schema utilizza obiettivi che operano "in asse", col loro asse ottico coincidente con l'asse del singolo microscopio. Ciò facilita la correzione delle aberrazioni e quindi migliora la definizione delle immagini.

Per cambiare ingrandimento occorre sostituire la coppia degli obiettivi oppure ricorrere ad un sistema "pancratico" (zoom).



¹⁵ Vedi, nel medesimo sito, sezione "Microscopia ottica", il manuale "Problemi tecnici della microscopia ottica", cap. 29.

¹⁶ Nello stesso testo, vedi il cap. 18.12.

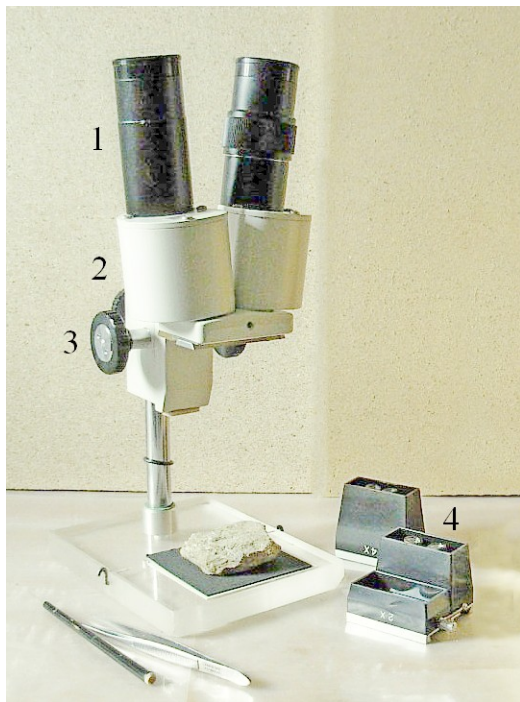


Fig. 34 – Due semplici stereoscopici secondo lo schema di **Greenough**. In 1 i tubi porta-oculari, di cui si può variare la distanza reciproca per adattarla alla distanza pupillare dell'osservatore.

Uno dei due tubi è regolabile per la compensazione delle anisometropie.

In 2 le scatole dei prismi per il raddrizzamento delle immagini. In 3 la manopola per la messa a fuoco (macro-metrica, generalmente con pignone e cremagliera). In 4 le coppie di obbiettivi, una delle quali si vede nella figura seguente. In 5 una delle due piastre "poggia-mani", che facilitano la manipolazione del e sull'oggetto.

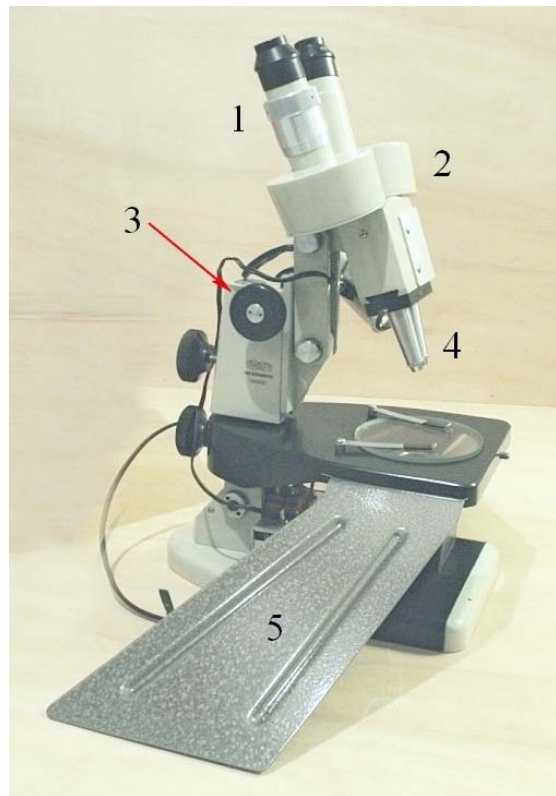
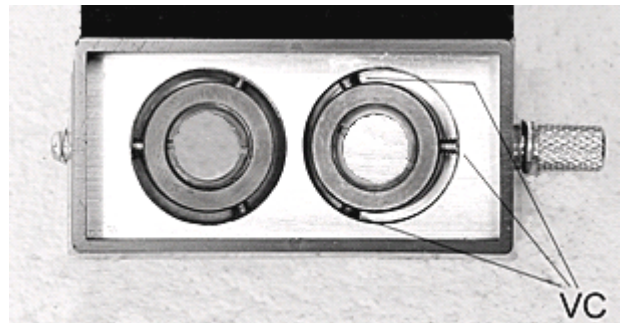


Fig. 35 – Una coppia di obbiettivi sec. Greenough, i cui assi convergono sul centro del piano oggetto. Ogni obiettivo può essere centrato per mezzo di tre grani (VC) per ottimizzare la parcentratura fra le due immagini.

Per variare l'ingrandimento, oltre che la sostituzione diretta della singola coppia su una coda di rondine lineare, è usata la sostituzione con slitte a due o tre coppie (Leitz), con tamburi a 3 – 5 coppie (Reichert, Galileo), con dischi-revolver, ecc.



L'altro schema di base degli stereoscopici, assai diffuso per ragioni di semplicità costruttiva, è quello "ad **“obbiettivo comune”** (CMO = Common Main Objective).

In questo caso, gli obbiettivi non sono costituiti da due sistemi separati, centrati ognuno sul medesimo asse comune al proprio oculare, ma da due regioni periferiche dello stesso obiettivo.

Fig. 36 – Il cerchio esterno indica il perimetro utile dell'obbiettivo "comune" (della sua pupilla); in esso, con opportuno diaframma, si delimitano due zone marginali circolari che possono servire da obbiettivi separati obliterando tutto il resto della pupilla "comune".

Questo semplifica i problemi di centratura (due porzioni della stessa lente sono sempre in relazione fissa fra loro), ma i due obbiettivi parziali lavorano "fuori asse" rispetto all'asse dell'obbiettivo comune e quindi presentano aberrazioni "fuori asse" (cromatica laterale, astigmatismo, coma).

Ciò rende il sistema CMO meno corretto, con minore definizione, e così l'ingrandimento in genere non può superare 50 ×.

Questa situazione appare facilmente guardando da sotto l'obbiettivo "comune", come si vede nella figura seguente.

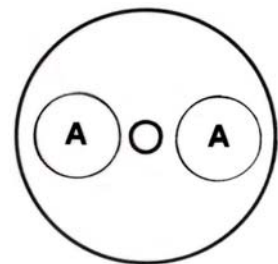
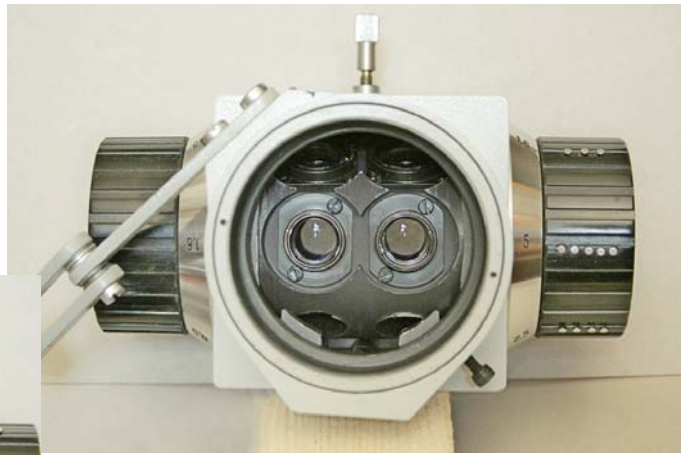
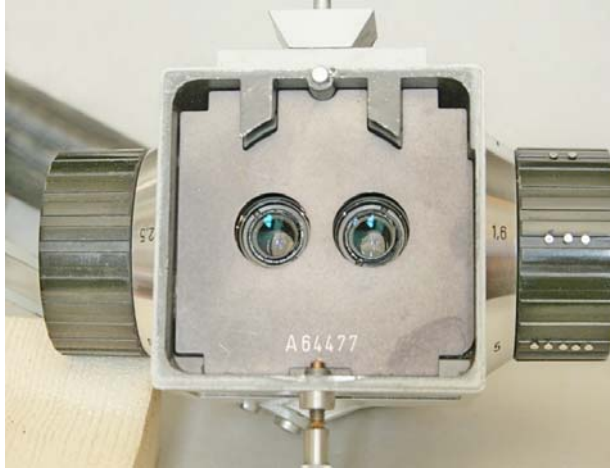


Fig. 37 a/b – L'obiettivo comune è generalmente fissato al di sotto di un "corpo" che contiene i sistemi per il cambio dell'ingrandimento. Sopra al "corpo" si fissa il tubo binoculare ed altri accessori.

Guardando da sotto o da sopra il "corpo", si vedono due fori o direttamente i due sistemi per il cambio dell'ingrandimento.



L'obiettivo "comune" ha sempre un diametro di qualche centimetro.

Sia gli stereoscopici sec. Greenough che quelli a CMO possono adottare lo schema "a seconda coniugata finita" o quello "a coniugata infinita", sopra descritti. Nel secondo caso, fra obiettivi ed oculari sarà presente la solita "lente di tubo" (in coppia anche quella) e questa seconda soluzione semplifica l'uso di sistemi intermedi per il cambio dell'ingrandimento.

Tale cambio può essere ottenuto con sistemi zoom (generalmente due sistemi identici e distinti) oppure introducendo nel fascio telecentrico fra obiettivo e lente di tubo un sistema "afocale" (un cannocchialino di tipo galileiano), in coppia (vedi l'art. n° 45).

Raramente è previsto il cambio dell'obiettivo comune oppure qualche "lente addizionale", sempre comune, da applicare sull'obiettivo principale, a volte per aumentare, a volte per diminuire l'ingrandimento totale. In questo modo si varia la focale del CMO e quindi la distanza di lavoro.

Fig. 38 – Schema generale di uno stereoscopico a sistema CMO. Sono indicati l'obiettivo comune (Ob), la lente di tubo (L), i prismi raddrizzanti (P) e l'oculare (Oc). O' è l'immagine intermedia. O'' è l'immagine retinica.

Il cambio dell'ingrandimento si ottiene col tamburo T ad asse orizzontale che porta uno o più sistemi galileiani capaci di dare un ingrandimento o (se rovesciati) un impiccolimento dell'immagine. Con due galileiani (due coppie) si possono ottenere quattro diversi ingrandimenti + uno, se il tamburo espone un canale vuoto privo di lenti.

Il tamburo che porta i galileiani può essere duplice, uno per canale, ed avere un asse verticale (Galileo NSC, ad es.).

Con X ed Y sono indicati i due membri di un galileiano: uno convergente (X) ed uno divergente (Y). Questi sistemi intermedi sono focalizzati all'infinito, quindi afocali, da ambo i lati.

I galileiani sono interposti nel fascio telecentrico fra **Ob** ed **L**.

NB: in ognuno dei due canali di uno stereoscopico occorre curare centrature ed allineamenti come in un mono-obiettivo, ma in più occorre centrare e "parfocalizzare" fra loro i due sistemi: tutto è più complicato.

Vediamo qualche esempio concreto.

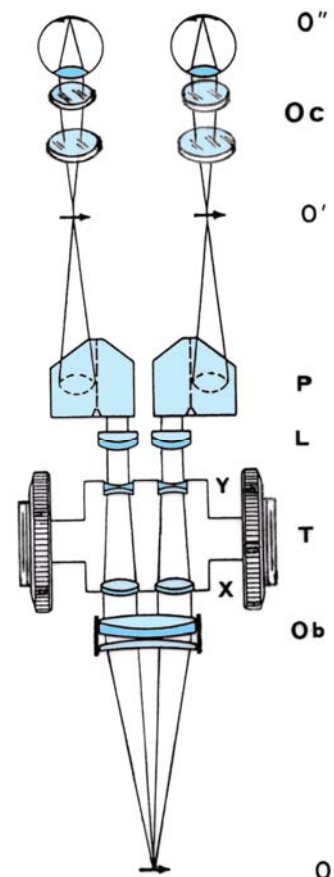


Fig. 39 – Due modelli di stereoscopico a sistema CMO.

1 indica gli oculari, 2 il sistema dei prismi raddrizzanti, 3 la manopola di messa a fuoco.

Nel modello M5, a destra, è schematizzata una microlampada con collettore per l'illuminazione episcopica unilaterale.

(Wild, modd. M4 ed M5)

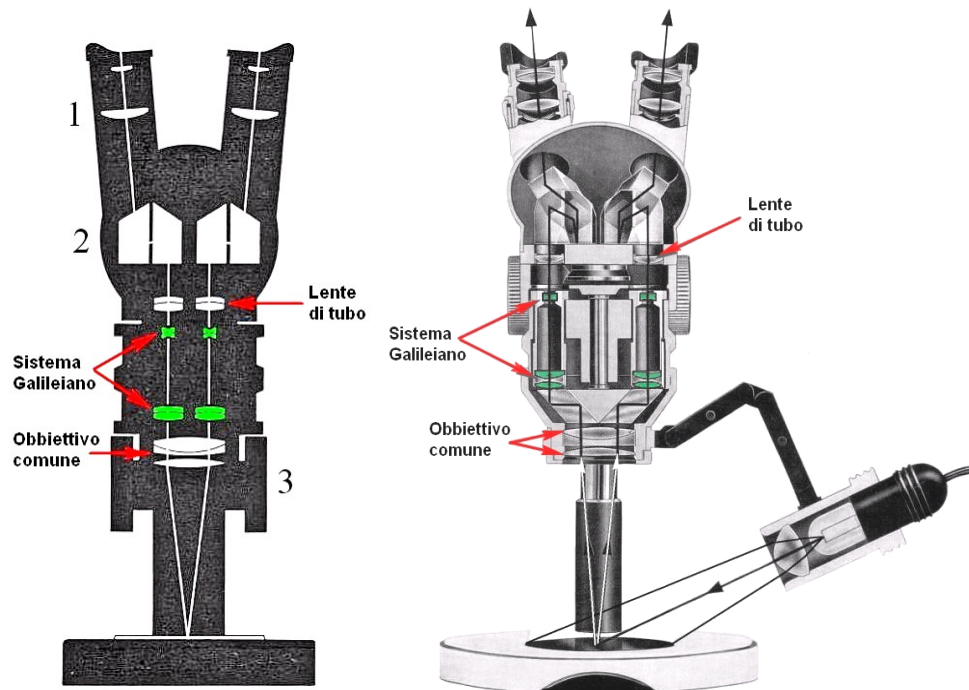


Fig. 40 (sotto, a destra) – Il modello Technival della casa Zeiss di Jena (1980).

In 6 il tamburo ad asse orizzontale per il ribaltamento dei sistemi galileiani e quindi la variazione dell'ingrandimento.



Fig. 41 (a sinistra) – Nel modello M8 della casa Wild, a sistema CMO con zoom (9), entrambi gli oculari sono regolabili. Si aggiunge un tubo per fotografia (7) ed un illuminatore episcopico coassiale (8).

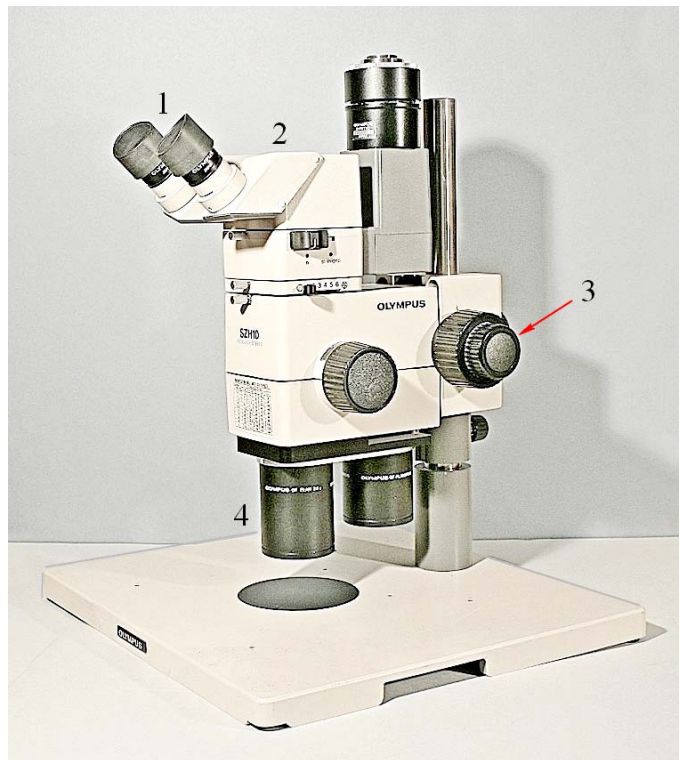
Con tale illuminatore il fascio illuminante attraversa l'obiettivo stesso su entrambi i canali, ma un sistema polarizzante interno è progettato in modo che l'immagine finale sia costituita solo dal fascio specularmente riflesso dall'oggetto.

Così viene bloccata la luce diffusa. Questo sistema è, infatti, destinato all'osservazione di oggetti lucidi, come pezzi metallici, circuiti integrati, ecc. Anche qui è la natura dell'oggetto e determinare le caratteristiche più opportune per lo strumento ed il sistema illuminante.

Fig. 42 – Olympus SHZ 10. Un modello decisamente “de luxe”: oculari (1) ribassati, messa a fuoco (3) con due manopole coassiali (macro- e micrometrica), tubo intermedio con diaframmi ad iride per modificare la profondità di fuoco, tubo intermedio per uscita video e tubo superiore “foto”.

L’obbiettivo (4) è sostituibile (è montato su una piastra girevole) con un altro di ingrandimento doppio. Lo zoom è forte (rapporto 1:10) e consente ingrandimenti da 7 a 70× (da 14 a 140× con l’obbiettivo 2×). In realtà, con gli ingrandimenti maggiori la definizione diventa molto carente ma qualche cliente accetta questo (e magari non se ne accorge neppure).

La base è ampia per assicurare una sufficiente stabilità.



Uno stereoscopico può essere usato sia in episcopia che in diascopea, come richiesto dal tipo di oggetto. Qualche modello è fornito con gli accessori per la fluorescenza.

L’illuminazione di uno stereoscopico non richiede particolari sistemi: l’apertura, come si è detto, è modesta (massimo 0,1) e non richiede un condensatore né un diaframma d’apertura o di campo.

In episcopia, può bastare un faretto (o semplicemente una lampada “alogeno” del tipo “dicroico”, con specchio). Avremo l’illuminazione laterale, in fondo scuro, unilaterale, come nella figura seguente e nella 39, a destra (pag. precedente).

Fig. 43 – L’inclinazione di una semplice lampada a fascio concentrato andrà regolata in base alla forma dell’oggetto: quanto più ne è accidentata la superficie, tanto più il fascio illuminante dovrà provenire dall’alto per ridurre le ombre portate.

È anche consigliabile che la lampada sia girevole attorno all’asse dell’obbiettivo in modo da dirigere le ombre nel modo migliore.

Per ottenere l’illuminazione in fondo scuro omnilaterale vengono fornite lampade anulari (da disporre concentricamente all’obbiettivo) con un tubo fluorescente anulare o con una corona di LED o con un sistema anulare di fibre ottiche.

Fig. 44 – Per un’illuminazione “coassiale” (episcopica in fondo chiaro) si può usare una lastrina di vetro sotto la coppia di obbiettivi (schema a lato) oppure uno specchio a 45° posto in mezzo ai due obbiettivi (foto seguente), o ancora uno schema come quello delle figg. 23-24 (pag. 10-11), ovviamente in coppia.

NB: in uno stereoscopico, molti organi sono in due esemplari; nonostante il basso ingrandimento, ciò spiega il costo relativamente elevato di questi strumenti.

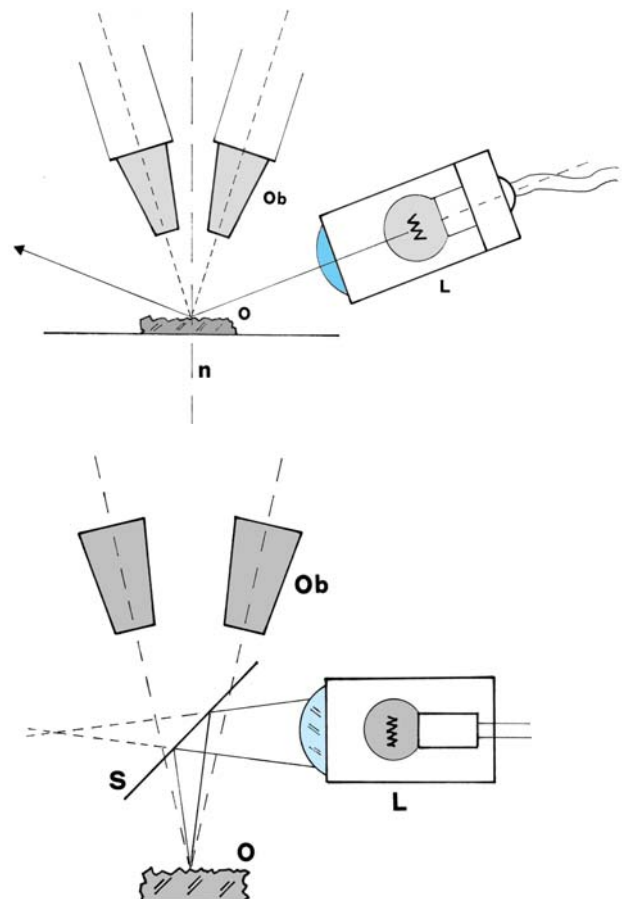


Fig. 45 – Nella realizzazione più semplice, uno specchietto posto in mezzo ai due obbiettivi (S) riceve dalla microlampada L un fascio collimato che viene rinvio verso il basso, secondo la bisettrice dell'angolo di stereo (fra gli assi dei due obbiettivi).

Per osservare un oggetto cavo O (come l'interno di un obbiettivo da microscopio), questo semplice dispositivo può risultare prezioso.

Lo specchietto è fissato al centro di un anello (An) che è bloccato sull'orlo dell'obbiettivo comune dalla vite V.

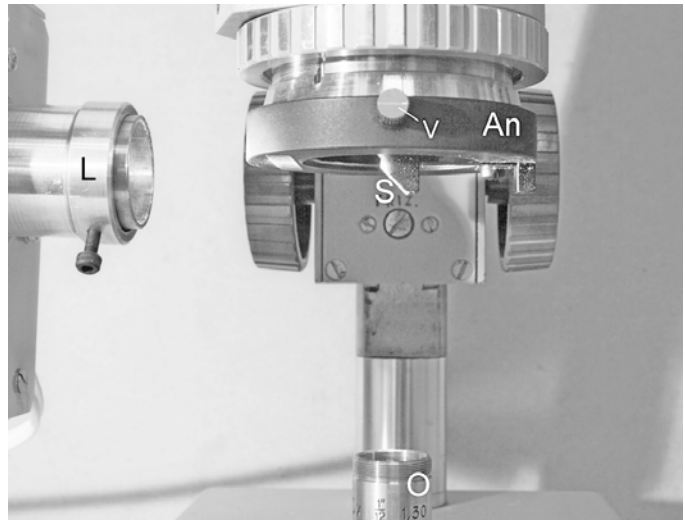
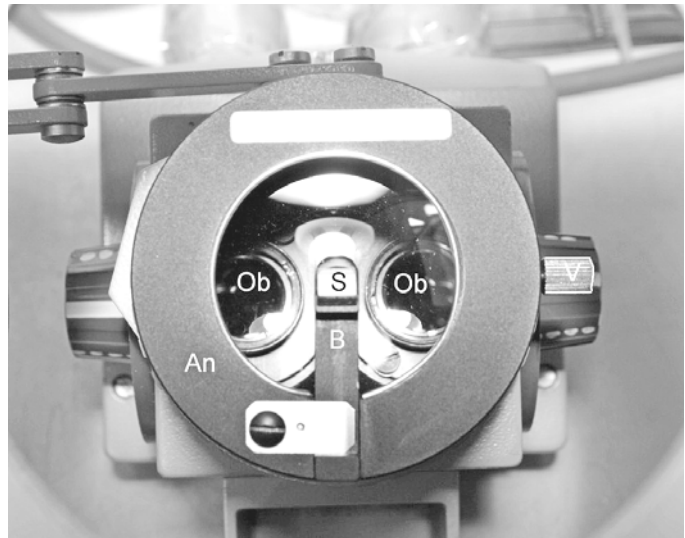


Fig. 46 – Ecco come è disposto lo specchietto S della figura precedente, scorrevole sulla periferia dell'anello An, in modo da trovarsi in mezzo ai due obbiettivi parziali di uno strumento CMO (Ob).



Per la diascopia in uno stereoscopico non occorrono sistemi complessi. Basta spesso una lampadina o un LED seguiti da un filtro smerigliato; raramente viene usata una lente collettrice (convergente di forte potenza). Sono in commercio anche condensatori diascopici per campo scuro. Con uno specchietto disassato è facile ottenere l'illuminazione obliqua in diascopia.

CONCLUSIONI

Una rapida rassegna come questa mostra quante varianti sul tema “microscopio” siano state escogitate nel corso di quattro secoli per rispondere alle più svariate esigenze dell'osservazione in ogni campo della scienza e della tecnologia.

In generale, anche nelle configurazioni più semplici, uno stereoscopico è di estrema utilità in campo naturalistico, medico, tecnologico, meccanico, mineralogico, gemmologico, paleontologico, parassitologico, ecc.

Esso si configura come una superlativa lente d'ingrandimento, col vantaggio della visione binoculare, della percezione del rilievo, della possibilità di manipolare l'oggetto con le mani – che saranno entrambe libere – della grande distanza di lavoro (generalmente di qualche centimetro), della buona definizione, ecc.

Molti utenti di un microscopio stereo o non stereo si preoccupano di trarne i maggiori ingrandimenti, ma la maggior parte del lavoro in campo naturalistico e tecnologico ha bisogno di ingrandimenti tra 5 e 10 ×. Basta questo per aprire all'occhio ed alla mente un mondo assai vario, a cui nessuno pensa, semplicemente perché esula dall'esperienza quotidiana. Il mondo che ci circonda richiede da noi, a volte, qualche strumento complicato, ma soprattutto una mente aperta.