

29 - STEREO - MICROSCOPIA

Nel microscopio “normale” (a volte chiamato genericamente “biologico”) descritto finora vi è un solo obiettivo ed un’unica immagine dell’oggetto. Quando esistono due tubi portoculari, ovvero due oculari portati da un unico tubo bioculare (§ 24.1 e fig. 98), si tratta di un unico fascio, suddiviso in due fasci identici da una superficie semiriflettente piana (diagonale nel prisma D di fig. 98). I due oculari, e così i due occhi dell’osservatore, ricevono (o dovrebbero ricevere) due immagini identiche.

Si è anche detto che i due oculari, in quel caso, hanno gli assi ottici paralleli. Tutto si svolge come se un osservatore emmetrope fissasse senza “accomodare” un oggetto molto lontano (in pratica, almeno qualche decina di metri): i due occhi formano la stessa immagine, secondo due assi visuali paralleli¹⁹⁸. In queste condizioni, non è possibile la percezione del rilievo. Nell’esperienza quotidiana, il nostro sistema visuale e nervoso ci può dare la sensazione del rilievo, della profondità, della “terza dimensione”, solo se ai due occhi pervengono due immagini diverse dello stesso oggetto, due immagini riprese da due punti di vista diversi¹⁹⁹. Normalmente, ciò avviene quando osserviamo oggetti lontani non più di qualche metro: la distanza fra i nostri occhi (da 55 a 75 mm salvo eccezioni) è sufficiente perché le due immagini in essi formate siano leggermente diverse; salvo il caso di oggetti piani e perpendicolari all’asse visuale medio, naturalmente, e per ragioni ovvie.

Se poi osserviamo un oggetto “vicino” (alla distanza convenzionale di 250 mm), oltre a contrarre il muscolo ciliare del cristallino e quindi a “mettere a fuoco” l’occhio sulla diminuita distanza (fenomeno della “**accomodazione**”), noi “**converghiamo**”, cioè usiamo i muscoli oculo-motori per far sì che i due “**assi visuali**” dei nostri occhi si incontrino sul punto “vicino” che stiamo osservando. I nostri assi visuali non sono più paralleli e, per un punto a 250 mm di distanza, si incontrano con un “**angolo di stereo**” di circa 15°²⁰⁰. Proprio questa diversità di punto di osservazione crea quella lieve differenza fra le due immagini retiniche, da cui il nostro cervello ricostruisce la profondità dell’oggetto. È questa la “**visione stereoscopica**” (dal greco “stereon” = solido, con riferimento all’osservazione di oggetti solidi, a tre dimensioni). È il nostro modo normale di osservare gli oggetti relativamente vicini, e possiamo ora capire cosa lo differenzia dall’osservazione degli oggetti lontani: diversità fra le due immagini retiniche, convergenza, accomodazione.

Ora, la possibilità di “accomodare” ci consente di osservare un oggetto vicino e ci fa apparire l’oggetto stesso sotto un angolo maggiore, cioè ce lo fa “vedere più grande”. La lente d’ingrandimento aiuta in questo senso poiché ci consente di osservare l’oggetto ancora più da vicino e ce lo mostra sotto un angolo maggiore che non ad occhio nudo. Ma abbiamo visti i limiti della lente d’ingrandimento (§ 1.2.1), la quale comunque ci dà una visione monoculare. Pertanto, l’ideale per l’osservazione di un oggetto piccolo sarebbe di tenerlo a 250 mm dagli occhi, guardarlo con entrambi gli occhi per avere la percezione del rilievo e, da quella distanza, osservarlo con un “angolo di stereo” fra gli assi visuali di circa 15°, il tutto però con l’aggiunta, fra ogni occhio e l’oggetto, di un sistema d’ingrandimento. In sostanza, osservare l’oggetto come si fa ad occhio nudo, ma con un microscopio per ogni occhio, interposto fra

¹⁹⁸ In ottica, il concetto di “parallelo” è relativo, come quello di “infinito” o di “punto”; se ne è già parlato.

¹⁹⁹ Prescindiamo dai casi in cui il rilievo degli oggetti ci è indicato dall’esperienza e dalla conoscenza preventiva della forma e delle dimensioni dell’oggetto.

²⁰⁰ In ottica si chiama “asse visuale” dell’occhio la direzione di fissazione: normalmente, noi fissiamo un punto oggetto muovendo l’occhio in modo che l’immagine di quel punto si formi sulla regione più sensibile, o a maggior risoluzione, della retina (“fovea”). Fra l’asse visuale e l’asse ottico dell’occhio (asse di simmetria geometrica, come s’intende nel caso delle lenti) vi è un angolo di circa 5°.

occhio ed oggetto. Dunque, due microscopi con gli assi inclinati di circa 15° fra loro, e che convergono sull'oggetto come è indicato in fig. 111.

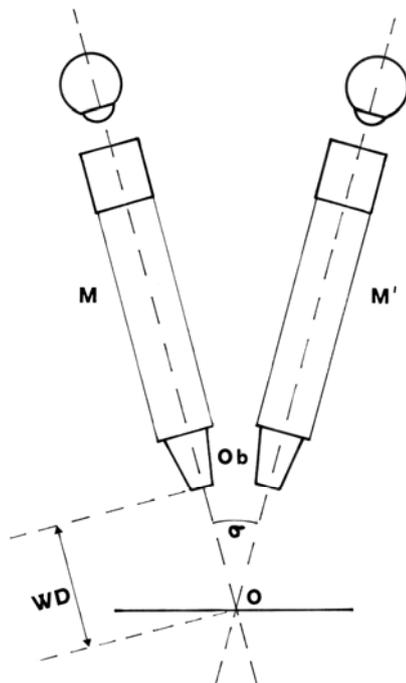


Fig. 111

In figura, O è l'oggetto, σ (lettera s minuscola greca o "sigma") è l'angolo di stereo, M ed M' sono i due microscopi.

Uno strumento secondo lo schema di fig. 111 è detto "microscopio stereoscopico" o "**stereo-microscopio**"; spesso si usa il termine "binoculare", ma ciò è da evitare potendo generare confusione col termine, di significato ben diverso, "bioculare" (vedi il § 24.1)²⁰¹.

Abbiamo così uno strumento che, in linea di principio, dovrebbe dare una visione molto naturale, fisiologica, proprio per la diversa direzione dei due assi visuali. E così è. Ma c'è una forte limitazione: salvo soluzioni particolari, l'ingrandimento è limitato. La ragione è semplice: se i due obbiettivi (Ob in fig. 111) debbono distare dall'oggetto O di una distanza WD, con semplice calcolo trigonometrico si ricava che la distanza fra i centri delle lenti frontali è pari a circa $WD/4$ (con un angolo $\sigma = 15^\circ$, $\tan \sigma = 0,268 = 1/4$ circa). Un obbiettivo forte può avere una $WD = 0,2$ mm, ad es., e le lenti frontali di una coppia di obbiettivi simili dovrebbero avere un diametro non superiore alla distanza fra i centri ($0,2/4 = 0,05$ mm circa) ed un raggio ovviamente inferiore a $0,025$ mm, poiché occorre lasciare un certo spazio per la montatura delle lenti. In queste condizioni, l'apertura numerica sarebbe, per un obbiettivo a secco, inferiore a $\text{tg } \alpha = 0,025 / 0,2 \approx \text{sen } \alpha$ (vedi la nota ²⁰²) = $\text{sen } 7,2^\circ = 0,125$. L'ingrandimento utile sarà allora (formula (55) nel § 18.12) inferiore a 125. Se si considerano altri valori di WD, nulla cambia poiché il rapporto fra diametro massimo della lente frontale e WD rimane $1/4$ (essendo legato all'angolo di stereo) e quello è il limite superiore per apertura, risoluzione ed ingrandimento utile. In pratica, le esigenze meccaniche ed ottiche portano ad un ingrandimento massimo di circa 100 e, rispettivamente, 50 per i due tipi fondamentali di stereo-microscopi sotto descritti. Ne ripareremo.

²⁰¹ Gli stereomicroscopi, per riguardo ad una delle loro applicazioni più comuni, sono chiamati anche "da mineralogia" oppure, pensando allo studio anatomico di organi o di piccoli organismi, "da dissezione".

²⁰² Si è detto nel § 2.2 che, per angoli piccoli, è possibile in molti casi assimilare seno e tangente.

29.1 - Le CARATTERISTICHE SALIENTI

Possiamo allora definire un microscopio stereoscopico come un microscopio composto, doppio, a basso ingrandimento, formato da due sistemi ottici identici, collegati rigidamente fra loro in modo che i due assi ottici formino un angolo di circa 15° . Il punto assiale del campo oggetto (in parole povere, il centro dell'oggetto) deve essere lo stesso per i due sistemi. Ma andiamo avanti.

Si è appena detto che l'ingrandimento massimo è vincolato dall'ingombro delle lenti, ovvero dall'angolo di stereo e non cambia col variare della **distanza di lavoro** WD. Pertanto, il costruttore ne approfitterà e cercherà di realizzare il massimo valore per WD e facilitare la manipolazione dell'oggetto: poiché l'ingrandimento è piccolo, lo strumento si presta ad osservare oggetti di grandi dimensioni, di forma svariata (insetti, fiori, cristalli, ecc.) e pertanto una forte distanza di lavoro è essenziale. Una seconda caratteristica dello stereomicroscopio è appunto la grande distanza di lavoro, spesso intorno a 8 - 10 cm.

Adesso parliamo della profondità di fuoco o **penetrazione**. Si disse (vedi il § 14, formula (36)) che tale penetrazione aumenta coll'inverso del quadrato dell'apertura. Poiché il diametro della lente frontale, e quindi l'apertura, dell'obbiettivo di un microscopio stereoscopico sono limitati dall'impossibilità di far compenetrare i due obbiettivi, la profondità di fuoco sarà più elevata che non in un obbiettivo normale. Anzi, il costruttore cercherà di accrescere il più possibile questo pregio, come anche la distanza di lavoro, a scapito dell'apertura e quindi della risoluzione; UNO STEREO-MICROSCOPIO AVRÀ GENERALMENTE UNA RISOLUZIONE MINORE ED UNA MAGGIOR PENETRAZIONE DI UN MICROSCOPIO NORMALE, A PARITÀ D'INGRANDIMENTO.

Del resto, la tendenza ad aumentare la penetrazione a scapito anche della risoluzione ha un altro fondamento, oltre la comodità d'uso: la percezione del rilievo (stereoscopia) avviene solo finché l'oggetto appare ragionevolmente nitido, cioè all'interno della penetrazione.

La grande distanza di lavoro e la grande profondità di fuoco facilitano quindi l'osservazione e la manipolazione di oggetti irregolari, anche di grandi dimensioni, a forte rilievo. In queste condizioni, assai frequenti nel lavoro naturalistico e nella tecnologia, è possibile e molto comodo tenere l'oggetto fra le dita, ruotarlo in tutte le direzioni ed esplorarne la profondità, cioè metterlo a fuoco più su o più giù, semplicemente alzandolo od abbassandolo colle mani. Si rientra cioè nel concetto di osservazione "naturale", in condizioni assai simili a quelle della visione ordinaria a piccola distanza.

Ma qui occorre rispettare un'altra condizione: la manipolazione dell'oggetto, specialmente se eseguita con le mani, impone che l'immagine visuale (quella che si osserva con gli occhi, non quella fotografata) sia diritta rispetto l'oggetto. Nel microscopio composto, si è detto a suo tempo, l'immagine intermedia è rovesciata rispetto l'oggetto; l'oculare fornisce un'immagine virtuale, diritta rispetto quella intermedia, quindi rovesciata rispetto l'oggetto. Dunque un microscopio stereoscopico deve prevedere un dispositivo capace di ruotare l'immagine di 180° (l'alto diventa il basso, la destra diventa sinistra, ecc.). Le soluzioni pratiche per ottenere questa rotazione sono svariaticissime. Raramente si usa una lente-relé, come descritta nel § 2.6.2.3 (fig. 12), ed è un peccato, poiché lo strumento diventa in questo modo più leggero e compatto²⁰³. Si tratta quasi sempre di una "scatola" di specchi o prismi a

²⁰³ C'è da dire però che la lente-relé aumenta molto la lunghezza dei tubi, per circa quattro volte la sua focale (§ 2.6.2.3).

riflessione totale che, con un gioco di riflessioni multiple, ottengono la rotazione dell'immagine prima verticalmente e poi orizzontalmente (o viceversa). La “scatola” si trova sempre fra obiettivo ed oculare. Ne parleremo fra breve.

Un'ulteriore caratteristica della microscopia stereoscopica è quindi di offrire un'immagine visuale diritta.

Ma torniamo al concetto di “visione naturale” o “fisiologica”. Nell'esperienza normale, il nostro campo visuale è limitato solo dalla struttura del nostro occhio (mediamente, il nostro campo visuale “binoculare”, comune ad entrambi gli occhi, è di 120° in orizzontale, di 140° in verticale). Nessun oculare può dare un campo angolare simile: si è visto (§§ 7.1 e 20.1) qual'è il campo reale degli oculari e quali sono gli inconvenienti di un campo eccessivo. La tendenza dei costruttori è comunque di offrire il campo angolare più ampio possibile, ricorrendo ai due accorgimenti citati a suo tempo: $\diamond\diamond$ aumentare l'indice di campo s' e quindi anche il diametro esterno dell'oculare (spesso 30 mm); $\diamond\diamond$ aumentare l'ingrandimento V_{ok} dell'oculare diminuendone la focale.

Quest'ultimo espediente, spesso usato dagli incompetenti per forzare il basso ingrandimento dello stereomicroscopio, porta però facilmente a superare i limiti dell'ingrandimento utile, che è basso in questo caso, come già detto. Un buon compromesso fra campo angolare e definizione dell'immagine è un oculare $10\times$ con $s' = 20 - 25$ mm (diametro esterno pari a 30 mm); oltre $10\times$, l'immagine stereoscopica diventa rapidamente “poco nitida”, specie per ingrandimenti totali superiori a $20\times$.

Comunque sia, l'ampiezza del campo visuale del microscopio stereoscopico è da considerare un carattere positivo, con qualche riserva sulla definizione e sulle aberrazioni ai margini del campo (controllare sempre con un reticolo !).

Possiamo allora riassumere i caratteri differenziali della microscopia stereoscopica in questo modo:

$\diamond\diamond$ visione binoculare, con due obiettivi e due assi ottici inclinati fra loro di un “angolo di stereo” di circa 15° ; dunque “visione stereoscopica”;

$\diamond\diamond$ piccolo diametro delle lenti dell'obiettivo e piccola apertura (in rapporto ad obiettivi normali di pari potenza), quindi bassa luminosità dell'immagine e bassa risoluzione (spesso dell'ordine di $10\ \mu$); da ciò: basso ingrandimento utile e basso ingrandimento totale (generalmente inferiore ad $80\times$);

$\diamond\diamond$ in compenso, elevata profondità di fuoco ed elevata distanza di lavoro;

$\diamond\diamond$ immagine visuale diritta;

$\diamond\diamond$ grande campo angolare degli oculari (i quali sono spesso di diametro superiore allo standard di 23,2 mm).

Ecco dunque che il microscopio stereoscopico è complementare rispetto a quello normale (che ha la massima risoluzione ma la minima distanza di lavoro e la minima penetrazione); il lavoro che può essere fatto col primo non è adatto al secondo e viceversa.

Va infine notato che, negli obiettivi normali, quelli più deboli hanno in genere una maggior risoluzione di quelli forti, considerando naturalmente la risoluzione in linee/mm nell'immagine finale, e ciò perché, a conti fatti, per essi il rapporto apertura/ingrandimento (cioè risoluzione/ingrandimento) è più favorevole (vedi il § 18.12). Invece, nello stereomicroscopio, per le ragioni dette sopra, il rapporto massimo fra diametro della lente frontale e distanza di lavoro è all'incirca indipendente dalla focale o dall'ingrandimento dell'obiettivo (limite dato dall'angolo di stereo); questo è come dire che l'apertura massima è circa sempre la stessa (la NA non supera in genere 0,1, come detto sopra) e quindi la risoluzione nel piano oggetto è anch'essa costante: sufficiente ai bassi ingrandimenti, insufficiente a quelli elevati.

Anche la penetrazione (formula (36)) è all'incirca indipendente dall'ingrandimento,

almeno nella componente “fotografica”, proprio perché è costante l’apertura. La si può valutare mediamente in mezzo millimetro. Molto di più nell’osservazione, ed in questo caso sarà maggiore a piccolo ingrandimento.

29.2 - La “SCATOLA” dei PRISMI

I prismi utilizzati per il raddrizzamento dell’immagine, a volte rimpiazzati da specchi (otticamente cambia poco²⁰⁴), sono costituiti da blocchetti di “vetro ottico” (con caratteristiche ottiche controllate), limitati da superfici “otticamente piane”, cioè con deviazioni dal piano ideale contenute entro una frazione di micron.

Alcune delle loro superfici operano come specchi ideali in quanto su di esse il fascio incide dall’interno, sfruttando il fenomeno della **riflessione totale** (§§ 2.3.2 e 11). A volte, tali superfici sono rese riflettenti con uno strato metallico (argento, alluminio, ecc.) e protette poi esternamente con una vernice nera, allo scopo di renderle insensibili alla polvere od altra sporcizia; ma in questo modo la riflessione non è più totale e la riflettività diminuisce.

Il sistema dei prismi è contenuto in un’unica scatola o in due scatole distinte, interposte fra obiettivo ed oculare. Le soluzioni tecniche scelte dai vari costruttori per la forma dei prismi, la loro montatura meccanica ed i dispositivi di allineamento, sono assai vari. Diamo solo qualche esempio sul principio utilizzato per il rovesciamento dell’immagine: vedere la fig. 112.

In A è indicata la classica coppia di prismi a sezione di triangolo rettangolo isoscele, ideata dal Porro²⁰⁵ ed oggi indicata come “1° sistema”. Un prisma provoca il rovesciamento alto-basso, un secondo il rovesciamento destra-sinistra. Questo sistema a due prismi è largamente utilizzato nei binocoli “prismatici”, negli oculari “raddrizzatori” per astronomia, ecc. I due prismi possono essere incollati su metà delle “facce ipotenusa”, diventando un blocco unico.

Con qualche modifica di questo schema, si ottiene il “prisma di Porro, 2° sistema” costituito da due prismi generalmente incollati (fig. 112, B).

Meno ingombrante è il **prisma “a tetto”**; (“roof”) o “di Amici”²⁰⁶, sempre a sezione triangolare isoscele, in cui la faccia ipotenusa è sostituita da una coppia di facce a 90° fra loro, disposte come le falde di un tetto (fig. 112, C). Un solo prisma esegue il rovesciamento completo. Il prisma di Amici produce una flessione dell’asse di 90°. Per avere angoli minori, è frequente la variante “di Schmidt”²⁰⁷ in cui la faccia d’ingresso e quella d’uscita (verticale ed orizzontale in fig. 112 C) non sono inclinate fra loro di 90°, ma di un angolo minore ed all’interno del prisma si hanno quattro riflessioni invece di due (fig. 112 D ed E).

In fig. 112 F, il prisma di Abbe presenta un minimo ingombro trasversale e sfrutta il “tetto” più due riflessioni interne; è usato nei binocoli ultraleggeri.

²⁰⁴ Con l’introduzione dei prismi, ci saranno le solite influenze sulle aberrazioni, sull’avanzamento dell’immagine, ecc., come si disse a proposito dei tubi bioculari.

²⁰⁵ Ignazio PORRO (1801 - 1875), piemontese, topografo e costruttore di strumenti ottici.

²⁰⁶ Già citato nel § 16.1.

²⁰⁷ Bernhardt Voldemar SCHMIDT (pron. Semitt), ottico tedesco (1879 - 1935).

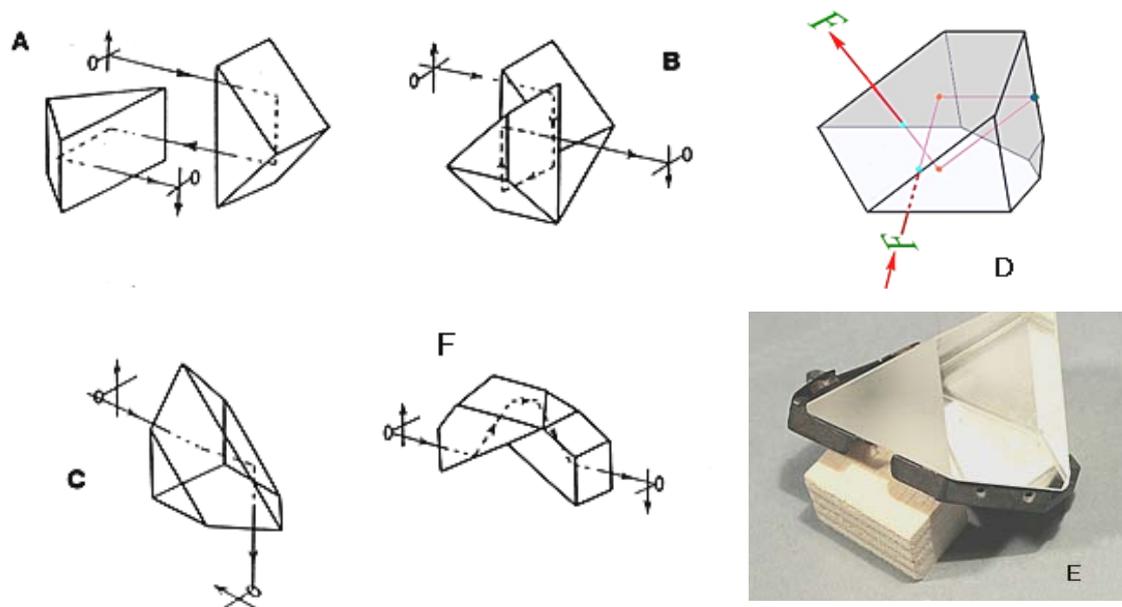


Fig. 112 Da: W. G. Driscoll – “Handbook of optics”, O.S.A.

Ora, come si è detto nel § 24 (fig. 97), è comodo avere il tavolino porta-oggetti orizzontale ed i tubi porta-oculari inclinati (ad es. di 45°). Ciò vale anche per il microscopio stereoscopico. A questo fine, sotto ai prismi raddrizzanti, vi può essere una ulteriore coppia di prismi od un prisma unico che opera come quello di fig. 34 B (nel § 11), oppure gli stessi prismi raddrizzanti operano anche l'inclinazione dell'asse, come quello di Schmidt appena citato. La stragrande maggioranza dei microscopi stereoscopici offre il tavolino orizzontale e gli oculari inclinati.

29.3 - FINI ed APPLICAZIONI

Si è già detto come la maggior distanza di lavoro e la maggior profondità di fuoco diano allo “stereoscopico” la possibilità di osservare e manipolare oggetti di grandi dimensioni, comunque di forma accidentata ed irregolare, con forte profondità, in evidente vantaggio sul microscopio normale.

Parlare di oggetti grandi ed irregolari significa generalmente parlare di oggetti opachi, e pertanto lo stereoscopico è assai spesso usato per l'illuminazione episcopica (§ 8.1).

A parte i casi particolari accennati nei §§ 29.11.2 e 29.11.3, si usa generalmente un'illuminazione episcopica a “fondo scuro” o “**obliqua**” (fig. 113) in cui l'oggetto *O* viene illuminato lateralmente con un fascio più o meno collimato. Si dà al fascio illuminante prodotto dalla lampada *L* un'inclinazione abbastanza forte perché la radiazione riflessa da un oggetto eventualmente riflettente e piano (perpendicolare alla bisettrice **n** dell'angolo di stereo) prosegua dalla parte opposta, senza penetrare negli obbiettivi. Tale oggetto appare quindi scuro (dove il “fondo nero”) e solo le irregolarità della sua superficie appaiono chiare poiché diffondono radiazione in tutte le direzioni e quindi anche nell'obbiettivo.

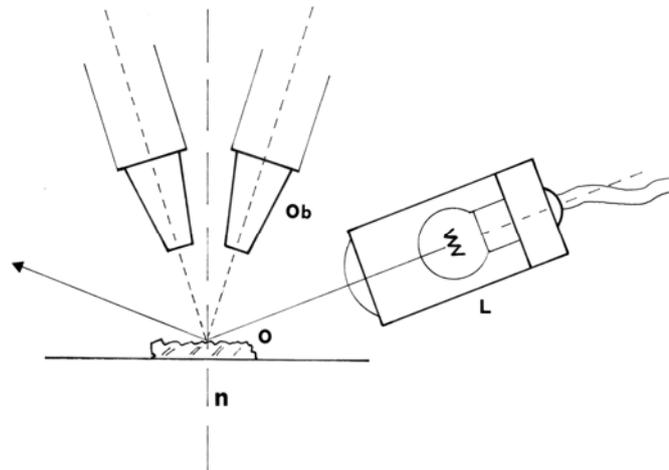


Fig. 113

Ma normalmente l'oggetto è irregolare e diffondente, per cui non si può parlare di strutture chiare su un fondo scuro riflettente. È questo il caso più comune anche nell'osservazione ad occhio nudo. Benché per questo tipo di illuminazione si adoperino spesso lampade apposite munite di collettore (vedi oltre), ad ingrandimento medio-basso può bastare una comune lampada da tavolo o la luce del giorno, anche la luce diffusa del cielo attraverso una finestra.

Si realizza così un'illuminazione episcopica diffusa, assai simile a quanto avviene nell'osservazione normale senza microscopio.

A questo punto, è chiaro quali sono gli oggetti più adatti all'osservazione col microscopio stereoscopico: insetti, piccoli invertebrati e loro parti, piccole conchiglie, sabbie, parassiti, piante inferiori, fiori, semi, minerali e rocce, gemme, microfossili, minuterie meccaniche, componenti elettronici, prodotti industriali vari, ecc. Ebbene, questi oggetti possono venir osservati così come sono.

Come è noto, nel microscopio normale, sia per la bassa penetrazione che per la minima distanza di lavoro, occorre che l'oggetto sia piano e sottile. Piano, se è opaco e va osservato in superficie (in episcopia); piano e sottile se è trasparente e va osservato in diasopia. Questo significa che l'oggetto va spianato e levigato se è molto compatto (rocce, carboni, metalli, ceramiche, ecc.), oppure indurito e sezionato in "fette" sottili se è molle (tessuti animali o vegetali, piccoli organismi, ecc.). I procedimenti di spianatura, levigatura o sezione sottile sono assai lunghi e complessi.

Invece, date le prestazioni dello stereomicroscopio, non è generalmente necessario eseguire alcuna preparazione sull'oggetto: anche se forma e superficie sono molto irregolari, nulla vieta di osservarlo nello stato naturale, anche allo stato vivente.

Questo semplice discorso fa capire la praticità e la semplicità d'uso dello stereomicroscopio, che può essere messo in mano a chiunque, senza preparazione specifica. Sono pochi gli oggetti che non si possano meglio osservare e conoscere tramite quello strumento, e sono pochi i rami della scienza e della tecnica in cui esso non trovi applicazione.

Inoltre, con uno stereomicroscopio si possono applicare quasi tutte le "tecniche speciali" della microscopia, come la fluorescenza, la radiazione polarizzata, il disegno, la fotografia, la ripresa televisiva.

Per contro, se l'oggetto da osservare è piano (sezioni istologiche, provini metallografici e petrografici levigati, prove di stampa su carta, francobolli, campioni ceramici, ecc.), è ovvio che la visione stereoscopica con assi inclinati è inutile: l'oggetto non ha rilievo. L'uso del

microscopio stereoscopico è giustificato solo con oggetti in rilievo e quando si cerchino ingrandimenti inferiori a $20\times$, difficilmente ottenibili da un microscopio normale; ma generalmente risoluzione e definizione saranno inferiori, appunto in confronto a quelle di un microscopio normale, a parità di ingrandimento.

29.4 - PROBLEMI PARTICOLARI

29.4.1 - Parcentralità

Nel § 19.1.4 si è usato questo termine per indicare la reciproca centratura dei campi immagine forniti dai vari obbiettivi montati su un revolver e questo vale anche per gli eventuali revolver dello stereomicroscopio (vedi oltre). Ma qui intendiamo usare lo stesso termine per indicare la centratura reciproca delle due immagini stereoscopiche, come si è fatto nel § 24.1.4 per i tubi bioculari: rispetto al diaframma di campo visivo dei due oculari, l'immagine dell'oggetto deve avere la stessa posizione trasversale, con tolleranza inferiore ad $1/50$ del diametro del diaframma stesso.

Anche qui, gli elementi che influiscono su questa parcentralità sono molti: posizione dei tubi porta-oculari, posizione ed orientamento dei prismi, centratura degli obbiettivi, ecc. Inoltre, i due assi ottici dei due oculari dovrebbero incontrarsi nel centro del campo-oggetto O (fig. 111 nel § 29) o almeno in un punto giacente sulla bisettrice dell'angolo di stereo.

Ma, rispetto ad un normale tubo bioculare, lo stereomicroscopio presenta una complicazione: la messa a fuoco influisce sulla centratura in direzione trasversale. Ecco perché: in fig. 114 è schematizzato uno stereoscopico con i due obbiettivi Ob puntati e centrati sul punto di miglior fuoco O . Tutto bene. Ora supponiamo di alterare la messa a fuoco: il piano oggetto (PM) si sposta in PS , e sarebbe lo stesso se si spostasse in senso opposto. Il centro del campo oggetto (O), che prima era a fuoco, e la cui immagine si trovava al centro dei due campi visuali, si sposta in O' . Rispetto ai due assi ottici, cioè al centro dei campi, O' si trova spostato a sinistra per il canale sinistro ed a destra per il canale destro. In altre parole, l'immagine è decentrata in direzione opposta nei due oculari. Azionando la messa a fuoco di uno stereomicroscopio e fissando un punto dell'oggetto (meglio si osserva il fenomeno se il punto è vicino all'orlo destro o sinistro del campo), si vedrà che quel punto si sposta lateralmente.

Per evitare queste perdite di centratura, non basta però curare la messa a fuoco. Vi sono infatti varie cause che possono indurre ad errori.

1) L'effetto del tubo (§ 4.2) spinge l'osservatore a portare l'immagine finale virtuale molto vicina all'occhio; in questo modo si sposta assialmente anche l'immagine intermedia ed il punto a fuoco nel piano oggetto (O in fig. 114). Il fuoco corretto viene alterato.

2) Ametropie sferiche dell'osservatore (miopia ed ipermetropia): anche con occhio non accomodato, un occhio ametropo richiede un'immagine finale non all'infinito, e si ricade nel caso precedente.

3) Oculari aventi un primo fuoco (e quindi un diaframma di campo visivo DV ed un'immagine intermedia) in posizione non corretta. Supponendo che il venditore abbia corredato lo strumento con gli oculari corretti (da verificare!), la sostituzione degli oculari va affrontata con molto senso critico. Ciò vale anche quando si sostituiscono gli oculari al fine di variare l'ingrandimento totale.

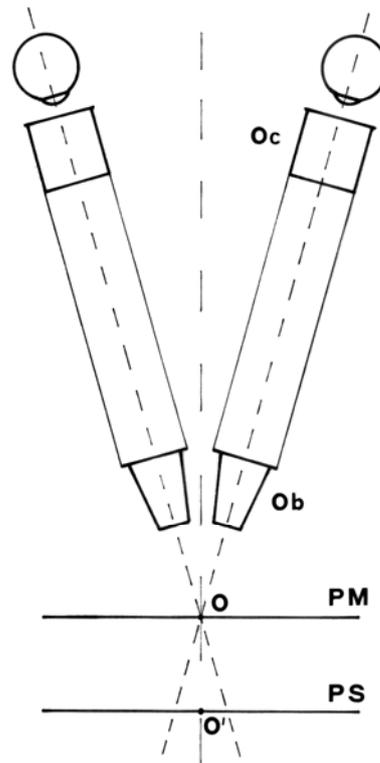


Fig. 114

4) Tubi porta oculari regolabili: come nei tubi bioculari (§ 24.1.1), si prevede che almeno uno dei tubi porta-oculari dello stereomicroscopio sia regolabile in lunghezza in modo da variare l'altezza dell'oculare e quindi la posizione dell'immagine finale. Ciò ha lo scopo di evitare che un occhio ametropo debba alterare la messa a fuoco per vedere nitido (vedi il caso 2, appena descritto) e che un osservatore con anisometropia non possa vedere simultaneamente a fuoco con entrambi gli occhi. In pratica però la regolazione dei tubi in relazione all'anisometropia ed all'ametropia è delicata; occorrerebbe cercare il miglior fuoco osservando un oggetto ben piano e contrastato (un reticolo od un micrometro) e indossando gli occhiali "per lontano"; poi verificare il tutto sovrapponendo all'oculare un piccolo cannocchiale (con $V = 3 - 6 \times$) per ridurre l'effetto dell'accomodazione e rendere più sensibile la regolazione. L'effetto della regolazione sul tubo porta-oculari porta però agli stessi effetti di una regolazione del fuoco per cui, con un errore in una delle due regolazioni, si può compensare un errore opposto nell'altra: si vede nitido, ma il fuoco è scorretto. Se poi entrambi i tubi sono regolabili, non si sa quale dei due prendere come riferimento, e si è già detto che l'eventuale scala incisa sui tubi porta-oculari ha un valore relativo poiché l'effetto della regolazione dipende dalla focale dell'oculare (vedi il § 20.10).

Gli strumenti con entrambi i tubi (o gli oculari) regolabili sono quindi sorgente di errori poiché possono portare ad una posizione scorretta dell'immagine intermedia; sperando che il costruttore sia accurato, non rimane che mettere a fuoco guardando con un occhio solo attraverso un tubo od un oculare eventualmente regolabili, TENUTI NELLA POSIZIONE DI "0" (tenere gli occhiali per lontano in caso di ametropie sferiche superiori ad 1 D); poi si guarda nell'altro oculare evitando di rimettere a fuoco e si cerca la maggior nitidezza REGOLANDO SOLO IL TUBO RELATIVO. Per evitare errori di accomodazione, è sempre opportuno l'uso del piccolo cannocchiale, sopra citato, focalizzato all'infinito.

Concludendo, tutte le cause capaci di spostare dalla posizione corretta l'immagine intermedia o di variare la lunghezza meccanica L_m del tubo (§ 10) possono produrre un difetto di parcentralità fra le due immagini, in direzione destra-sinistra.

Della parcentralità fra i vari obbiettivi si parlerà più avanti.

29.4.2 - Parfocalità

Tutto quanto si è detto finora sulla parfocalità nel microscopio rimane valido in stereoscopia.

◇◇ Parfocalità fra gli obbiettivi (vedi il § 19.1.2).

In un microscopio normale si richiede che, al ruotare del revolver, l'immagine rimanga abbastanza a fuoco da poter riconoscere la struttura dell'oggetto e capire da che parte si deve ritoccare il fuoco. Se l'immagine non è riconoscibile, si rischia di agire sul fuoco nel senso sbagliato, peggiorare le cose e perdere tempo.

Ebbene, in uno stereomicroscopio vi può essere un revolver con due o più coppie di obbiettivi (vedi il § 29.5) oppure, spesso, si sostituisce semplicemente la coppia con un'altra. In altri casi, l'ingrandimento si cambia con altri mezzi (§§ 29.6 e 29.7); rimane comunque l'esigenza di non perdere apprezzabilmente il fuoco al variare dell'ingrandimento. A questo fine sono molte le esigenze cui deve rispondere il costruttore ed il tecnico della manutenzione (opportuna posizione assiale dei sistemi di lenti e delle singole lenti nelle varie coppie, ecc.), ma l'utente può provocare o correggere una perdita della parfocalità variando la lunghezza L_m dei due tubi, per es. con una regolazione errata degli eventuali tubi porta-oculari regolabili²⁰⁸. Anche qui, si può sperare che la posizione di "0" indicata dal costruttore corrisponda alla lunghezza corretta del tubo; comunque, tale lunghezza è in ogni caso quella che produce la migliore parfocalità.

Quando l'obiettivo è del tipo a focale variabile o **pancratico** ("zoom"), esso, da solo, può dare una variazione anche forte dell'ingrandimento; in questo caso, la parfocalità implica che il fuoco non vari apprezzabilmente durante l'intera corsa dello zoom. È sottinteso che anche la parcentralità deve conservarsi.

Anche qui, una carente "parfocalità di zoom" può venir corretta variando la lunghezza del tubo, per es. regolando le boccole porta-oculare.

◇◇ Parfocalità fra gli oculari (vedi il § 24.1.1).

Questa significa che entrambi gli oculari debbono fornire un'immagine virtuale a distanza infinita e quindi si può osservare con entrambi gli occhi (emmetropi) rilassati. Ciò può avvenire ad alcune condizioni : 1) il fuoco deve essere corretto, almeno al centro del campo; 2) gli oculari debbono avere il primo fuoco all'altezza corretta e debbono essere identici; 3) la regolazione dei tubi porta-oculari (ed eventualmente degli oculari regolabili) deve essere fatta sul punto "0"; e qui ritorna il discorso sull'anisometropia fatto sopra ed al § 24.1.1; 4) la posizione dei sistemi di lenti e dei prismi deve essere identica nei due canali. Ciò pone esigenze severissime in sede di smontaggio e di riassettaggio, così come la parcentralità.

²⁰⁸ Si ricordi quanto appena detto circa l'effetto di questa manovra sulla centratura in direzione orizzontale!

29.4.3 - L'angolo fra gli assi

Intendiamo qui gli assi ottici dei due oculari.

Per i discorsi fatti nel § 29 ed a proposito della fig. 111, sembrerebbe che l'angolo fra gli assi degli oculari debba coincidere con l'angolo di stereo σ . In effetti a volte avviene questo, ed in particolare, quando i tubi sono diritti, non a gomito, gli assi degli oculari son di solito paralleli a quelli degli obbiettivi.

Ma, fra obiettivo ed oculare, vi è sempre una scatola dei prismi raddrizzanti (§ 29.2) e magari il prisma del “gomito” che inclina l'asse ottico. A questo punto le cose si complicano. Gli assi dell'oculare e dell'obbiettivo di ogni lato possono essere inclinati fra loro, in linea di principio, in qualunque misura, ma bisogna anche consentire la regolazione della distanza interpupillare (§ 24.1.3). Impossibile descrivere tutte le soluzioni tecniche, meccaniche ed ottiche, escogitate dai progettisti. Generalmente non si ha però un movimento degli oculari su una slitta trasversale, perpendicolare alla bisettrice dell'angolo formato dai loro assi, come avviene in molti tubi bioculari (§ 24.1.3). Si ha invece un movimento degli oculari attorno ad un perno, come nei tubi secondo Siedentopf (fig. 100 nel § 24.1.3) o nei binocoli, ma non si può avere un perno unico (gli assi dei due oculari debbono rimanere collegati agli assi degli obbiettivi, che non sono paralleli); ogni oculare avrà un proprio asse di rotazione.

Allora, se l'asse di rotazione è parallelo all'asse ottico dell'oculare, si può spostare lateralmente l'oculare (e quindi variare la distanza pupillare) pur rimanendo l'asse ottico parallelo a se stesso (ed all'asse di rotazione), come avviene in un binocolo. In questo caso, l'angolo fra gli assi degli oculari non varia e può essere uguale all'angolo di stereo.

In altri casi, l'asse di rotazione degli oculari è inclinato rispetto al loro asse ottico (spesso di 45° nei tubi a gomito: di solito è verticale l'asse di rotazione ed inclinato di 45° l'asse degli oculari). In questi casi, quando gli oculari ruotano, varia la loro posizione azimutale e l'angolo fra di essi può variare entro ampi limiti, in relazione alla distanza pupillare impostata. L'angolo fra gli assi degli oculari sarà massimo quando la distanza pupillare è massima e può annullarsi o anche invertirsi con distanza minima; si può arrivare al caso di assi degli oculari che diventano divergenti invece che convergere. L'angolo di stereo rimane costante per gli obbiettivi ma non per gli oculari. È ovviamente una situazione poco fisiologica.

Ma c'è di più: durante la rotazione dei tubi porta-oculari, l'orientamento azimutale delle due immagini attorno al loro asse può rimanere costante, in certi casi, ma può anche variare: durante la regolazione della distanza fra gli oculari le due immagini possono ruotare attorno al loro centro. Ciò corrisponde ad un difetto della vista chiamato **cicloforia**. Entro certi limiti, il nostro apparato visivo neutralizza queste situazioni anomale, ma possono insorgere vari sintomi di stanchezza.

Comunque, si può dire che la visione stereoscopica è più critica di quella al microscopio normale; spesso l'osservatore non converge correttamente gli occhi, accomoda e quindi non mette a fuoco al posto giusto (perdita di centratura orizzontale), non regola bene la distanza pupillare, non riesce a “fondere” psichicamente le due immagini e finisce per guardare con un occhio solo, perdendo la prestazione essenziale della visione stereoscopica.

Oltretutto, anche la distanza fra occhi ed oculari è più critica allo stereomicroscopio: in un microscopio normale, come detto nel § 8.8 ed in fig. 33, il fatto di alzare od abbassare l'occhio rispetto alla posizione ideale (pur rimanendo la pupilla sull'asse) significa solo restringere il campo visuale; invece nel microscopio stereoscopico, variando l'altezza degli

occhi, la distanza fra gli assi ottici dei due oculari (che non sono paralleli) varia e non corrisponde più alla distanza delle pupille degli occhi: in altre parole, tutte le volte che l'osservatore alza od abbassa la testa dovrebbe ritoccare la distanza fra gli oculari. Se non lo fa, rischia di perdere una delle due immagini e l'osservazione diviene di nuovo monoculare.

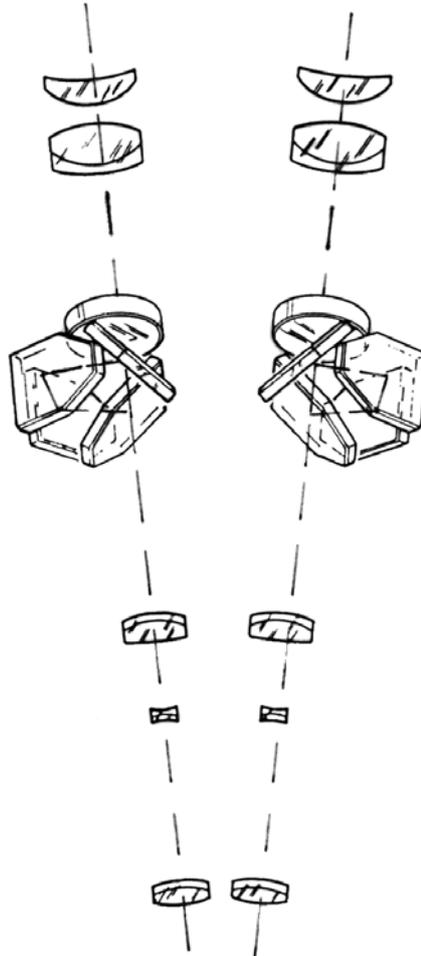


Fig. 115 - Da catalogo American Optical Corp., Buffalo, N.Y., SB 560 3/75

29.5 - Lo SCHEMA di GREENOUGH

La fig. 111 illustra lo schema più intuitivo e più logico di stereomicroscopio; esso fu introdotto, come concetto, dall'inglese F.H. Wenham (1861), fu definito dallo zoologo americano Horatio S. Greenough (pron. Griinou) nel 1892, e costruito da C. Zeiss a Jena nel 1896-97.

Lo schema di fig. 111 è più definito in fig. 115.

In questa si vede, dall'alto in basso, l'oculare costituito da due membri, una lente intermedia o "di tubo" (vedi oltre), un gruppo di quattro specchi per il raddrizzamento, ed infine l'obbiettivo, di tre membri.

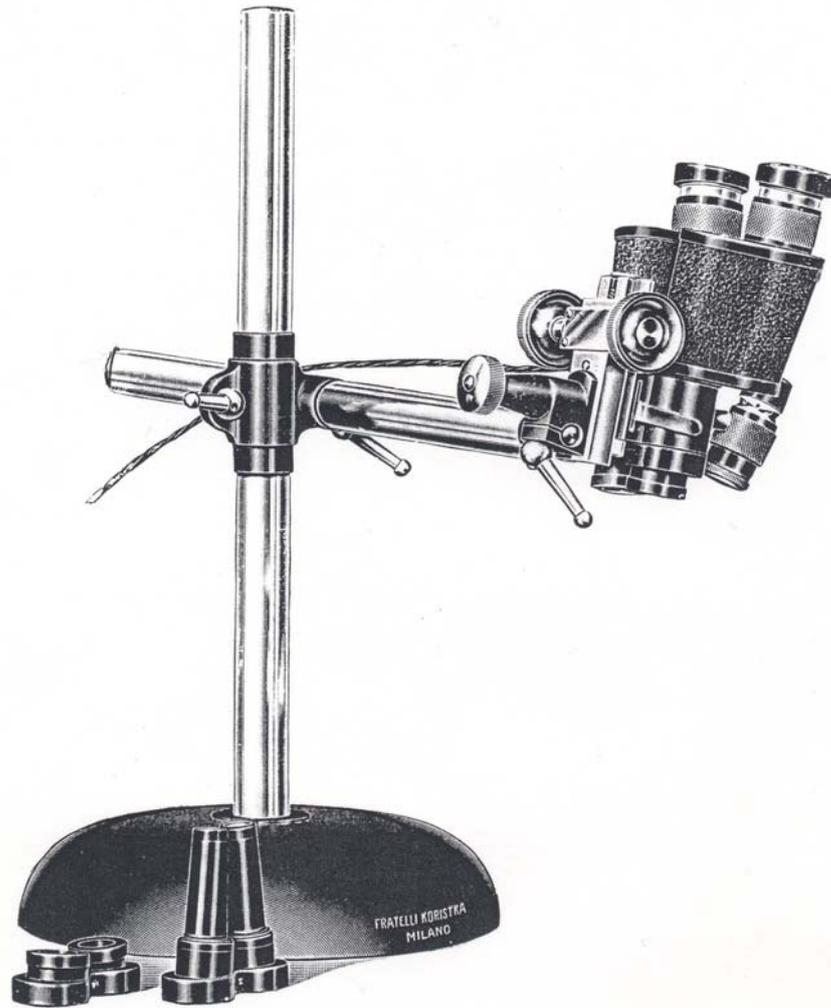


Fig. 116 Da catalogo Koristka, Milano, 1960

In fig. 116 si vede uno strumento che ha ormai valore storico non essendo più prodotto da decenni ed essendo scomparsa la casa Koristka; esistono però dei modelli leggeri di produzione attuale che gli somigliano molto. In alto, nella figura, si vedono i due oculari; la scatola dei prismi è doppia, identica a quella di un normale binocolo prismatico, a parte la convergenza degli assi; sotto la scatola, a destra, una piccola lampada con collettore e, a sinistra, la coppia di obbiettivi. Sul piano del tavolo, due coppie di obbiettivi intercambiabili. Del supporto, un po' particolare, diremo oltre.

29.5.1 - Svantaggi

Lo svantaggio della ridotta apertura e risoluzione è già stato descritto come dovuto all'impossibilità di compenetrare gli obbiettivi; su questo dunque non c'è nulla da aggiungere, anche se gli schemi descritti nei prossimi capitoli consentono un piccolo vantaggio in questo senso.

Un secondo svantaggio si presenta nell'osservazione di oggetti piani (superfici piane di oggetti opachi, sezioni sottili o strisci su vetrino per es.). Si consideri un tale oggetto piano perpendicolare o quasi alla bisettrice dell'angolo di stereo, quindi inclinato in misura uguale o quasi uguale rispetto agli assi dei due obbiettivi: per es. il piano PM di fig. 114 (§ 29.4.1). È intuitivo che, se il centro O del piano oggetto è a fuoco, un punto a destra di O si trova più lontano (che non O medesimo) dall'obbiettivo sinistro e più vicino all'obbiettivo destro. Il contrario per un punto a sinistra di O. Ciò significa che si vede bene a fuoco solo un diametro del campo visuale (diametro perpendicolare all'asse dell'obbiettivo ed al piano della figura 114). Una metà del campo sarà sfocata perché troppo lontana da un obbiettivo e troppo vicina all'altro; l'altra metà, l'inverso.

Gli apparecchi concepiti secondo lo schema di Greenough non sono quindi adatti per oggetti piani: si vede a fuoco solo una striscia verticale del campo visuale (la striscia si sdoppia se il miglior fuoco non è al centro del campo).

29.5.2 - Vantaggi

In uno schema come quello di fig. 111, 114 o 115, i due obbiettivi Ob sono centrati rispetto all'asse ottico di ognuno dei due microscopi, come avviene nel microscopio normale. Ciò consente la miglior correzione delle aberrazioni, in particolare (§ 13.3) al centro del campo saranno assenti le aberrazioni extra-assiali (cromatica laterale, coma, astigmatismo). Così è possibile aumentare l'ingrandimento utile (§ 29), in pratica anche oltre $100 \times$ circa.

Questa condizione, a prima vista ovvia, non si verifica negli altri schemi di microscopio stereoscopico sotto descritti.

Chi desidera una buona definizione dell'immagine sarà dunque meglio accontentato da uno stereomicroscopio sec. Greenough, ed apprezzerà di più questo vantaggio con oggetti non piani.

Tutto ciò naturalmente può diventare importantissimo in fotografia.

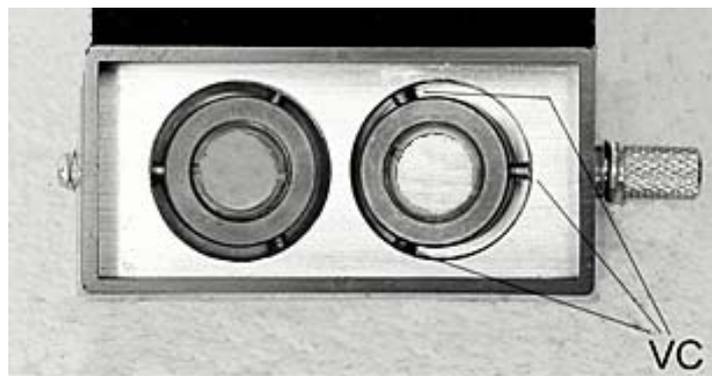
29.5.3 - Variazione d'ingrandimento

Con lo schema di fig. 111, 114 o 115, la variazione dell'ingrandimento viene effettuata con due mezzi principali:

◇◇ obbiettivi pancratici, a focale variabile (“**zoom**”); di questo parleremo oltre (§ 29.9);

◇◇ obbiettivi intercambiabili. La sostituzione degli obbiettivi può essere effettuata con quattro meccanismi principali:

1) Le coppie di obbiettivi (opportunamente centrati fra di loro ed appaiati su una base comune) sono sostituibili singolarmente con un incastro (generalmente) a coda di rondine lineare. Sono ben visibili due di tali coppie in basso nella fig. 116. Le varie coppie, nei buoni strumenti, sono parfocali e parcentrate fra loro: da una coppia all'altra si conserva il fuoco e la centratura dell'immagine.



Da una coppia all'altra varierà invece e di molto la distanza di lavoro WD . Generalmente, ogni obiettivo di ogni coppia è fissato e centrato a mezzo di tre “grani” (viti senza testa; VC nella figura di sopra) presso la sua base. Uno spostamento dei grani porta immediatamente ad una perdita di parcentratura.

2) Revolver ad asse verticale, simile ai revolver normali (§ 27.2.3), tranne il fatto che gli obiettivi singoli sono sostituiti da coppie. Ne schematizziamo i due tipi principali nella fig. 117, in cui A - A, B - B, C - C indicano le coppie di obiettivi che funzionano appaiati.

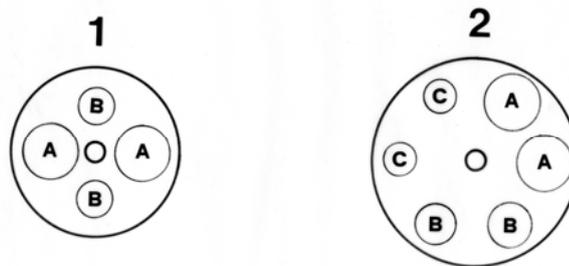
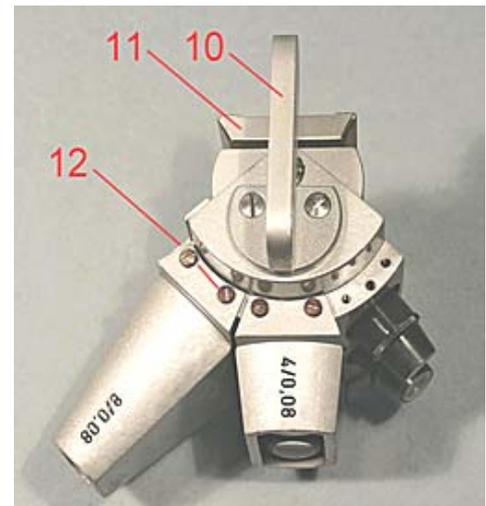


Fig. 117

Nel tipo 1 di fig. 117 (due coppie) l'asse di rotazione del revolver è al centro dei due obiettivi di ogni coppia; nel tipo 2, l'asse di rotazione è eccentrico, come nei revolver normali; possono essere ospitate tre o più coppie.

3) Revolver ad asse orizzontale, perpendicolare alla bisettrice dell'angolo di stereo, perpendicolare al piano mediano dello strumento; si tratta di un tamburo più o meno cilindrico, che porta le coppie di obiettivi, che divergono verso l'apice. Nella figura a fianco, una guida a coda di rondine (11) porta il revolver, comandato dalla leva 10. Le viti 12 fissano i coperchi delle singole coppie. La coppia a destra è visibile poiché è smontato il coperchio. (prodotto Reichert).



4) Slitta orizzontale con movimento nel piano sagittale (mediano) dello strumento; le coppie si sostituiscono l'una all'altra scivolando l'una dopo l'altra sotto l'asse ottico (Leitz, Askania).

In ogni caso, deve essere garantita la parfocalità e la parcentratura delle varie coppie.

Gli obiettivi degli strumenti sec. Greenough possono essere del tipo “a coniugata finita” o “a coniugata infinita” (vedi il § 3). Nel secondo caso, sopra l'obiettivo, sopra o sotto la scatola dei prismi, deve esistere la “lente di tubo” di cui si è già descritta la funzione. La focale di tale lente, negli stereomicroscopi, è generalmente inferiore al valore di 250 mm, una volta diffuso nei microscopi normali. In fig. 115 si vede la lente di tubo subito sopra il gruppo degli specchi.

29.6 - Lo SCHEMA di ABBE a PUPILLA DIVISA

Accenniamo solo ad un principio che in pratica ha ben poche applicazioni, ma che è alla base dell'altro schema, il CMO, descritto al capitolo seguente.

Si ricordi quanto si disse nei §§ 8.8 e 9 (fig. 32) a proposito della pupilla dell'obbiettivo (PU) e della sua immagine impiccolita creata dall'oculare (P) (disco di Ramsden). Si confronti la fig. 32 con la 118: in 1 è schematizzato l'oggetto piano, perpendicolare all'asse dell'obbiettivo 2; in 3 è indicata la pupilla dell'obbiettivo (PU); 4 è il gruppo prismi di un tubo bioculare normale; 5 è l'immagine intermedia e 6 l'oculare; quello che ci interessa è il piano 7 in cui si forma il disco di Ramsden (P).

Questo è lo schema di un normale microscopio con tubo bioculare. Ma si badi: in 7 vi è un diaframma costituito da un setto opaco con orlo diritto, che oblitera metà della pupilla P; la metà destra per l'oculare sinistro e viceversa. Il risultato è che le due immagini parziali ricevute dai due occhi sono costituite dal fascio che attraversa metà della pupilla P e quindi metà della pupilla d'obbiettivo PU (3); è come dire che l'obbiettivo (2) è diviso in due parti, che forniscono, ognuna per proprio conto, due immagini diverse. È detto "diverse" poiché le due metà dell'obbiettivo (2) accettano ognuna un fascio semi-conico il cui raggio "centrale" è all'interno del cono globale di apertura dell'obbiettivo, ma i due raggi centrali ("principali") formano fra loro un certo angolo (maggiore quanto maggiore è l'apertura dell'obbiettivo, circa la metà dell'angolo doppio di apertura = 2α). Si ha così la visione stereoscopica.

Il vantaggio di questo schema (E. Abbe, 1881) consiste nella possibilità di usare obbiettivi normali, anche di forte potenza, pure ad immersione. Lo svantaggio è che in 7 deve trovarsi un diaframma esattamente centrato e lì dovrebbe trovarsi anche la pupilla dell'occhio; non essendo ciò possibile, l'effetto stereoscopico si ha solo su una parte del campo. Per ovviare a questo inconveniente, si può suddividere la pupilla d'obbiettivo (3) in due metà occupate da due filtri polarizzanti incrociati; se, presso i due oculari, si pongono altri due filtri ruotati in modo da avere estinzione con l'una o l'altra metà della pupilla PU (3), si ha ancora la divisione della pupilla e l'effetto stereo, col vantaggio che la pupilla dell'occhio può stare nella posizione corretta.

Ma anche questa soluzione è raramente seguita (Nacht); fra l'altro, c'è l'inconveniente che fra i due filtri polarizzatori citati (quello sopra l'obbiettivo e quello a livello degli oculari) si trovano due o più superfici riflettenti che alterano lo stato di polarizzazione della radiazione. Se poi l'oggetto è in grado di polarizzare almeno parzialmente la luce da esso riflessa, le cose si complicano.

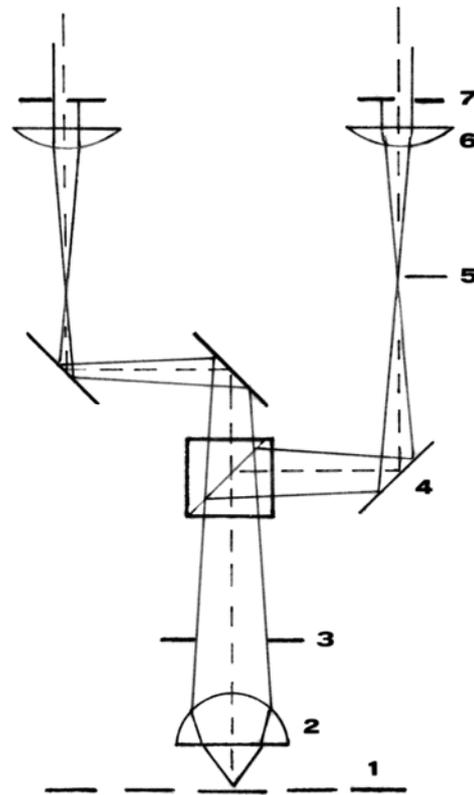


Fig. 118 Da - H. Beyer e H. Riesenberg, "Handbuch der Mikroskopie", p. 351, Veb Verlag Technik, Berlin, 1988

Lo schema si può applicare anche in diascopea, ed in questo caso i due semi-filtri polarizzanti si possono mettere sotto il condensatore invece che in PU.

29.7 - L'OBBIETTIVO UNICO (C. Zeiss 1944)

Parlare di un obiettivo unico in un microscopio stereoscopico può sembrare un controsenso ma, ripensando allo schema di Abbe di fig. 118, si capirà che la cosa è possibile: basta utilizzare due porzioni distinte dello stesso obiettivo, che funzionano da obiettivi separati.

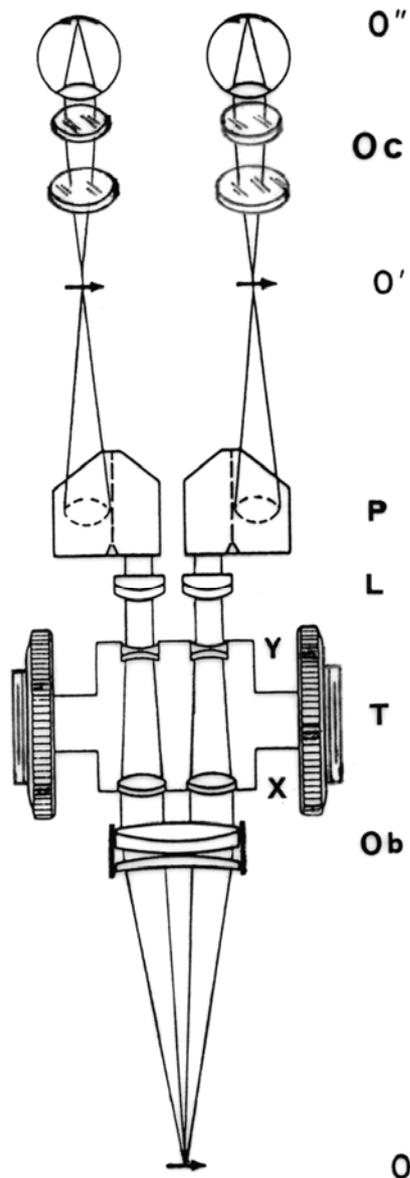


Fig.119 - Da catalogo Zeiss, Oberkochen, RFT, G 40 - 705

Questo schema, spesso indicato coll'acronimo **CMO** (Common Main Objective = obiettivo principale comune) è presentato in fig. 119. In questa, O è l'oggetto; O' è l'immagine intermedia (diritta rispetto l'oggetto per via dei prismi raddrizzanti), O'' è

l'immagine retinica; Ob è l'obbiettivo unico, o "comune", o "principale"; L è la lente di tubo (vedremo che l'obbiettivo principale è generalmente a coniugata infinita; sulla funzione della lente di tubo, vedi il § 3.2.3); P sono i prismi (si tratta in questo caso di un prisma di Schmidt che raddrizza l'immagine ed inclina l'asse); Oc è l'oculare (positivo).

Ebbene, un diaframma a due fori posto subito sopra l'obbiettivo Ob (diaframma non indicato in figura) delimita due fasci parziali, con i raggi principali inclinati fra loro (nello spazio fra obbiettivo ed oggetto), come se si trattasse di due obbiettivi separati. Poiché il centro del piano oggetto (O) si trova nel primo fuoco di Ob, i raggi da esso emergenti escono paralleli da Ob. Così, il fascio globale che, da ogni punto dell'oggetto, attraversa Ob ed uno dei due diaframmi parziali, prima di giungere alla lente di tubo, è un fascio parallelo. In altre parole, Ob funziona con la seconda coniugata infinita, il piano oggetto coincide col suo primo piano focale e dopo l'obbiettivo deve esistere una normale **lente di tubo (L)**, anzi una coppia di tali lenti, al fine di avere un'immagine intermedia al posto giusto. Fra Ob ed L il fascio (corrispondente ad ogni punto dell'oggetto o dell'immagine) è "telecentrico". Ecco così come il CMO può fornire con un unico obbiettivo due "canali" convergenti verso l'oggetto e quindi la visione stereoscopica.

29.7.1 - Svantaggi

Essi risiedono essenzialmente nel fatto che i due obbiettivi parziali sono solo porzioni non centrate di un obbiettivo unico; i fasci che formano le due immagini nei due canali attraversano l'obbiettivo principale fuori centro; ciò crea, anche al centro dei due campi visuali, forti aberrazioni extra-assiali (cromatica laterale, coma, astigmatismo), che possono essere ridotte solo complicando la ricetta dell'obbiettivo principale: certi costruttori offrono a questo fine degli obbiettivi "apocromatici" (vedi il § 13.2.1), sensibilmente migliori di quelli normali, ma assai più costosi.

Questa perdita di definizione costringe questi strumenti a ridurre l'ingrandimento massimo: raramente è possibile superare $50\times$.

29.7.2 - Vantaggi

Il fatto di possedere un obbiettivo unico elimina il problema della centratura reciproca dei due obbiettivi di una coppia Greenough. Inoltre, non essendovi una montatura separata per ognuno dei due obbiettivi, come avviene nel sistema Greenough, vi è più spazio per le due porzioni utili dell'obbiettivo le quali, a parità di angolo di stereo e di distanza di lavoro, possono avere un'apertura ed una risoluzione maggiore.

Tranne casi particolari, il cambiamento dell'ingrandimento si ottiene senza sostituire l'obbiettivo principale, per cui la distanza di lavoro WD risulta costante.

Il vantaggio principale sta nel fatto che un oggetto piano perpendicolare all'asse dell'obbiettivo principale produce due immagini intermedie ugualmente perpendicolari ai due assi secondari, cioè agli assi dei due oculari, e quindi tutte simultaneamente a fuoco (salvo l'effetto della curvatura di campo). Infatti, le due immagini intermedie sono semplicemente immagini di un oggetto piano perpendicolare all'asse (dell'obbiettivo comune) e quindi debbono anch'esse formarsi in un piano perpendicolare all'asse medesimo. È sottinteso che

gli assi dei due canali, creati dal doppio diaframma, sono paralleli all'asse dell'obbiettivo (nel tratto dopo l'obbiettivo stesso), e quindi paralleli fra loro, poiché l'oggetto è nel fuoco dell'obbiettivo.

29.7.3 - Variazione d'ingrandimento

Certi modelli adibiti a scopi specifici oppure di tipo economico presentano un unico ingrandimento. Ma generalmente è richiesta la possibilità di variarlo. Ecco le soluzioni più comuni nello stereomicroscopio tipo CMO :

1) Sistemi zoom; si tratterà in genere di una coppia di sistemi ad assi paralleli, interposti fra obbiettivo e scatola prismi. Ne riparleremo.

2) Obbiettivo principale intercambiabile. Si può dimostrare, come per gli obbiettivi normali a coniugata infinita, che l'ingrandimento di un obbiettivo CMO è dato dal rapporto fra focale della lente di tubo e focale dell'obbiettivo (vedi la formula (17) nel § 3.2.3, tenendo conto che la focale della lente di tubo nei microscopi tipo CMO è spesso molto inferiore a 250 mm). Sostituendo l'obbiettivo con un altro di diversa focale, si varia così l'ingrandimento; in misura inversa dell'ingrandimento varia anche la distanza di lavoro WD (che è circa pari alla focale dell'obbiettivo) ma, se aumenta la WD, diminuisce l'angolo di stereo, l'apertura e la risoluzione. Esistono modelli con obbiettivi principali di focale fra 30 e 1'000 mm, con ingrandimento proprio da 0,2 a 6 ×.

3) Sistema intermedio. Si è già detto che, nello schema CMO, come per ogni obbiettivo a coniugata infinita, lo spazio fra obbiettivo e lente di tubo è attraversato (per ogni punto oggetto) da un fascio parallelo o telecentrico. In questo spazio è dunque possibile introdurre un **sistema afocale**, cioè un sistema ottico che prevede sia il piano oggetto che il piano immagine a distanza infinita; tale sistema quindi prevede un fascio parallelo all'ingresso come all'uscita (si parla di “sistemi galileiani”, vedi sotto). Questo è il caso di un cannocchiale o di un telescopio che punta verso un oggetto molto lontano e fornisce un'immagine virtuale a grande distanza (il concetto di infinito, come si è detto, è relativo in ottica e va inteso come “molto più grande dei parametri del sistema”, come ad es. della focale; vedi anche il § 25.1).

Dunque, si può mettere fra obbiettivo e lente di tubo un piccolo cannocchiale, messo a fuoco “all'infinito”, che non altera la posizione dell'immagine intermedia, e quindi la messa a fuoco. Per ragioni di ingombro, si sceglie quasi sempre lo schema del cannocchiale di Galileo con oculare divergente, che dà un'immagine diritta (§ 25.1). Così, in fig. 119, fra l'obbiettivo Ob e la lente di tubo L, è raffigurato un piccolo sistema “galileiano” (ovviamente doppio) con un obbiettivo convergente X ed un oculare divergente Y. Poiché un sistema galileiano è afocale, la sua posizione laterale, cioè la sua centratura, non è critica; conta invece la centratura del suo oculare rispetto al suo obbiettivo. Anche la posizione assiale del sistema non è critica, mentre lo è la distanza fra il suo obbiettivo ed il suo oculare, cioè la sua messa a fuoco intrinseca, che deve essere sempre “per l'infinito”.

Per cambiare ingrandimento, non ci si limita però ad inserire od estrarre il sistema galileiano afocale; infatti, un cannocchiale funziona anche alla rovescia (entrambe le sue coniugate, si è detto, sono infinite); guardando dalla parte dell'obbiettivo si vede ugualmente a fuoco, ma rimpiccolito. Dunque, un sistema CMO come in fig. 119 senza il sistema intermedio X - Y, darà un ingrandimento “di base”, generalmente compreso fra 1,0 × e 2,0 × (oculare a parte); per es. 1,6 ×. Con il galileiano inserito, di ingrandimento proprio 2 ×, ad es. (o 0,5 × se rovesciato), esso darà un ingrandimento, ad es., di 3,2 × (diritto) o 0,8 × (rovesciato). Quindi con un sistema galileiano solo (coppia, s'intende) si hanno tre diversi

ingrandimenti; basta montare il galileiano su un tamburo ad asse orizzontale (T in fig. 119) che consente di voltarlo in due posizioni opposte, con l'obbiettivo X in basso o in alto; nelle posizioni intermedie, col sistema X - Y disposto trasversalmente, le lenti X ed Y sono fuori dal cammino e si torna all'ingrandimento "di base".

Con un solo sistema si hanno così $2 + 1 = 3$ diversi ingrandimenti. Di solito si usano due galileiani ottenendo $2 \times 2 + 1 = 5$ diversi ingrandimenti.

Raramente i galileiani sono montati su un tamburo ad asse verticale: essi così non possono essere rovesciati ed occorre un diverso sistema X - Y per ogni valore d'ingrandimento (Galileo).

Si noti che il cambiamento d'ingrandimento avviene tenendo fisso l'obbiettivo comune e la distanza di lavoro; cambierà invece l'apertura (per il diverso diametro delle lenti X ed Y) e quindi la luminosità (col quadrato dell'apertura), la profondità di campo (coll'inverso del quadrato) e la risoluzione (con funzione lineare dell'apertura).

Concludendo, il sistema CMO è più adatto ad oggetti piani, per piccoli ingrandimenti, e generalmente il cambiamento dell'ingrandimento è più facile, e non comporta variazione di WD.

29.7.4 - Sistemi misti

Si è visto che, secondo lo schema di Greenough, i due assi ottici fra obbiettivo ed oculare sono divergenti; nello schema CMO, invece, essi sono paralleli e ciò rende assai facile variare l'ingrandimento totale a mezzo di piccoli sistemi afocali galileiani. Per avere nello stesso strumento i vantaggi del primo schema (migliori correzioni) e del secondo (cammini paralleli telecentrici fra obbiettivo ed oculare), è possibile utilizzare due obbiettivi ad assi inclinati secondo Greenough e poi rendere i due assi paralleli dopo gli obbiettivi ponendo sopra di questi una coppia di prismi cuneiformi con spigoli opposti. Tali prismi potranno ovviamente essere corretti da aberrazione cromatica, ma resterà un residuo di astigmatismo. Questo schema è stato realizzato da Zeiss.

29.8 - OBBIETTIVI ADDIZIONALI

Si intendono con questo termine certe lenti convergenti o divergenti, di diametro simile a quello dell'obbiettivo principale (nei sistemi CMO) o tale da coprire la coppia di obbiettivi (nel sistema Greenough).

Queste lenti, applicate subito sotto l'obbiettivo principale o la coppia, servono essenzialmente ad aumentare o diminuire la focale del (o degli) obbiettivi principali e quindi a diminuire od aumentare l'ingrandimento secondo un "fattore proprio" che va moltiplicato per l'ingrandimento di base dell'obbiettivo. Si trovano lenti addizionali per fattori da $0,2 \times$ a $2 \times$; quelle che aumentano l'ingrandimento (fattore maggiore di $1 \times$) diminuiscono proporzionalmente la distanza di lavoro WD, ma aumentano (linearmente) l'apertura, la risoluzione e l'angolo di stereo, mentre abbassano la profondità di fuoco in ragione del quadrato dell'apertura. Il contrario avviene per quelle che riducono l'ingrandimento. Il rapporto apertura/ingrandimento rimane quindi più o meno costante; queste lenti addizionali non danno

allora né aumento né perdita di risoluzione nell'immagine finale.

Le lenti addizionali o supplementari sono disponibili in genere per qualunque modello di stereo-microscopio, ma è spesso necessario usare su un dato microscopio la lente addizionale dello stesso costruttore: è questione di correzioni e di parametri meccanici.

Tali lenti sono comode da usare; si fissano sotto l'obbiettivo principale con un passo di vite, una baionetta, una vite laterale o simili. Il loro inconveniente principale, a parte la variazione di WD, sta nel fatto che i due "canali" si trovano in posizione eccentrica rispetto alla lente e così insorgono le aberrazioni extra-assiali già citate a proposito del sistema CMO (§ 29.7.1).

29.9 - SISTEMI ZOOM

Si intende col termine inglese "**zoom**" un sistema ottico **pancratico**, in cui la focale può variare in modo continuo fra due valori estremi.

In uno stereomicroscopio, il sistema zoom può essere utilizzato per variare l'ingrandimento in modo continuo. Il suo vantaggio principale è che, durante la variazione, l'immagine non scompare, come avviene con gli altri sistemi e così è più facile seguire oggetti in movimento.

Lo zoom raramente è unico (in luogo dell'obbiettivo principale in un sistema CMO); generalmente è doppio, e sostituisce la coppia dei sistemi afocali (sistema CMO) o la coppia degli obbiettivi (Greenough).

Come per tutti i sistemi per il cambiamento dell'ingrandimento, da uno stereomicroscopio si deve pretendere che, durante l'intera corsa dello zoom, rimangano buone e costanti: $\diamond\diamond$ la parcentratura fra i due oculari; $\diamond\diamond$ la parcentratura intrinseca dello zoom (un punto al centro del campo deve rimanervi per tutta la corsa); $\diamond\diamond$ la parfocalità fra i due oculari; $\diamond\diamond$ la parfocalità intrinseca (l'immagine deve restare a fuoco in ogni posizione dello zoom).

Un sistema zoom è costituito da almeno tre membri²⁰⁹. Nei sistemi economici vi sono due membri solidali fra loro che si muovono simultaneamente in direzione assiale, mentre un terzo membro (a volte anche un quarto) è fisso. In questo caso, la parfocalità intrinseca sarà modesta e la variazione d'ingrandimento ridotta. Nei sistemi più costosi, vi sono due membri che si muovono in maniera indipendente, e la variazione d'ingrandimento ("rapporto di zoom") può arrivare a 10:1.

I mezzi meccanici per ottenere lo spostamento singolo o duplice dei membri mobili sono assai vari e non si possono illustrare in questa sede. Essi comunque debbono creare movimenti identici nei due sistemi della coppia, altrimenti si avrebbe un diverso ingrandimento nei due canali, cosa che i nostri occhi tollerano poco. Questo difetto può intervenire semplicemente per indurimento dei grassi, che impedisce il libero movimento dei membri mobili.

Anche uno stereo-zoom può prevedere le lenti addizionali citate sopra.

²⁰⁹ In ottica, un "membro" è una lente semplice o un sistema composto da lenti semplici incollate fra loro.

29.10 - Le ABERRAZIONI

Rimanendo valido quanto già detto nel § 13, aggiungiamo qualche dato particolare sugli stereomicroscopi.

Del fatto dei “canali” che operano eccentricamente rispetto all’obbiettivo principale, e delle aberrazioni extra-assiali che ne derivano, si è già detto nel § 29.7.1. Aggiungiamo solo questo: la visione stereoscopica nasce da piccole differenze geometriche fra le due immagini; una deformazione delle immagini stesse (distorsione, vedi il § 13.1.2) può deformare anche la percezione del rilievo e della forma di un oggetto a tre dimensioni; ma la distorsione è più dannosa quando si osserva un oggetto piano poiché esso può apparire ricurvo (“**effetto duomo**” o “globe effect”). Anche la curvatura di campo fornisce un’immagine ricurva di un oggetto piano e può generare l’effetto duomo.

Oltre agli obbiettivi “apocromatici” già citati, che riducono le aberrazioni extra-assiali, o almeno la cromatica laterale, vengono così offerti anche obbiettivi “planari” con ridotta curvatura. La planeità del campo è meno utile nei sistemi Greenough, per le ragioni dette nel § 29.5.1.

Per contro, la curvatura ha un altro effetto dannoso: per vedere a fuoco l’intero campo visuale (oggetto piano), essa costringe a spostare la messa a fuoco e ciò altera la centratura fra i due oculari in direzione trasversale (§ 29.4.1).

Riguardo la cromatica laterale, essa è in genere ben corretta (almeno negli obbiettivi del sistema Greenough) poiché gli obbiettivi stereoscopici hanno una focale relativamente forte e non esiste la lente frontale emisferica semplice della ricetta di Amici (§ 19.3.1). Pertanto negli stereo-microscopi si usano in genere oculari strettamente acromatici.

29.11 - ILLUMINAZIONE EPISCOPICA

29.11.1 - Laterale

Molta parte del lavoro allo stereomicroscopio, come si è detto, è svolto su oggetti opachi di forma irregolare, non piani, sia nelle scienze che nella tecnologia.

In questi casi, ci si avvicina molto all’osservazione abituale ad occhio nudo, in cui l’oggetto viene illuminato in modo più o meno diffuso da una finestra o dall’illuminazione artificiale dell’ambiente. A piccolo ingrandimento, questa illuminazione può bastare, è molto “naturale”, e certamente è sufficiente nel lavoro all’aperto in pieno giorno, anche senza sole diretto.

Per ingrandimenti medio-forti, almeno in ambiente chiuso, è necessaria una lampada ad hoc. Fino ad un certo punto, può bastare una normale lampada da tavolo o un “abat-jour”; altrimenti occorre una vera e propria microlampada (vedi il § 22) costituita essenzialmente da

un'ampolla ad incandescenza a bassa tensione (quindi a filamento compatto, vedi il § 22.6.1.2), meglio se del tipo “al quarzo-iodio” o “ad alogeni” (QI, § 22.6.1.3), più un collettore (§ 22.2), con porta-lampada, alette di raffreddamento, ecc. Non servono in genere, date le ridotte esigenze, né i meccanismi di centratura dell'ampolla, né il diaframma di campo. È utile invece, in genere, un meccanismo di messa a fuoco del collettore: non tanto per mettere a fuoco il filamento (manca un condensatore su cui proiettarne l'immagine), ma per avere sull'oggetto un fascio illuminante più o meno ampio, meno intenso quanto più ampio, ovviamente: in questo caso, il filamento dista dalla lente meno della focale di questa. Spesso, queste lampade portano anche un porta-filtri.

La lampada sarà in genere portata da un braccio snodato o flessibile che consente di illuminare l'oggetto, a seconda del suo rilievo, con raggi ad inclinazione variabile. Lo schema generico è quello di fig. 113 nel § 29.3. Se il braccio snodato è fissato al piede, la lampada non si sposta rispetto all'oggetto durante la messa a fuoco (supposto l'oggetto poggiato sul piede) e quindi, esplorando l'oggetto su vari piani, è necessario spostare ogni volta la lampada. Più comoda è una lampada fissata al “corpo” dello strumento, che segue la messa a fuoco ed illumina sempre, se ben orientata, il piano di miglior fuoco del microscopio.

Sono invece da escludere le lampade fissate rigidamente allo stativo o alla colonna, senza braccio snodato, che non consentono di variare l'inclinazione del fascio illuminante e quindi di governare le ombre. Purtroppo, queste lampade a posizione fissa diventano sempre più diffuse.

Se il braccio porta-lampada è fissato al “corpo”, più o meno all'altezza dell'obbiettivo, è bene che sia girevole intorno all'asse ottico, in modo da consentire di variare non solo l'inclinazione (zenit), ma anche l'orientamento (azimut) dell'illuminazione.

In caso di oggetti a forte rilievo (conchiglie, insetti, ecc.), specie in fotografia, una sola lampada può produrre ombre molto scure su un lato dell'oggetto. Per rischiarare il lato in ombra si può usare:

◊◊ una seconda lampada, meno intensa, capace di dare un fascio radente rispetto al piano d'appoggio dell'oggetto (radente, affinché sul piano medesimo non si formi una seconda ombra dell'oggetto);

◊◊ uno specchio che rimandi verso l'oggetto una parte del fascio della lampada (unica); lo specchio può essere costituito da un foglio di stagnola ricurvo che abbia un effetto convergente, a forma di semicilindro con asse verticale, poggiato sul tavolo;

◊◊ un cilindro di “carta lucida” (carta traslucida per disegni “in lucido”) che circonda l'oggetto e magari l'intero microscopio. Il cilindro andrà illuminato da più parti con due o tre lampade, oppure con una lampada ed uno o due specchi.

Vi sono poi illuminatori “a fibre ottiche” in cui il fascio illuminante è convogliato sull'oggetto a mezzo di uno o due conduttori di luce in fibra di vetro, generalmente flessibili. Questi dispositivi sono assai più costosi di una o due lampade normali e non presentano vantaggi apprezzabili. Oltretutto, la terminazione del conduttore di luce deve stare molto vicina all'oggetto poiché il fascio emergente è molto aperto (a forte divergenza). Si può ovviare a questo inconveniente con un'opportuna lente convergente posta a qualche centimetro davanti alla terminazione del conduttore, una specie di collettore; ma a questo punto tanto vale usare una microlampada normale.

Anche questi illuminatori a fibra ottica si vanno diffondendo senza motivo; questione di moda.

29.11.2 - Diffusa

A parte i semplici accorgimenti appena descritti, si può avere illuminazione più o meno diffusa o “omnilaterale” da dispositivi particolari, che presentano una sorgente anulare da montare attorno all’obbiettivo. Ne segnaliamo i tipi più frequenti:

◇◇ a fibre ottiche; quando l’uscita del conduttore non è puntiforme, o di piccole dimensioni, ma disposta ad anello, si può avere un’illuminazione ben uniforme, “senza ombra”; è questa l’unica applicazione utile delle fibre ottiche;

◇◇ con “tubo al neon”: la sorgente è costituita da una lampada fluorescente anulare, di diametro intorno a 10 cm (attenzione alla temperatura di colore !).

◇◇ con LED “bianchi” disposti a corona, relativamente economici. Anche qui, sarà difficile controllare la temperatura di colore poiché questi moderni diodi emissivi possiedono uno spettro a bande. Hanno il vantaggio di emettere poco nell’infrarosso e nell’UV.

Spesso queste sorgenti anulari sono montate, col loro supporto e relativo paraluce, su una colonnina che permette di variarne l’altezza rispetto l’oggetto. Anche questo consente di governare meglio le ombre.

S’intende che queste sorgenti anulari sono concentriche rispetto all’obbiettivo.

29.11.3 - Verticale o coassiale

Si indica così un’illuminazione che giunge all’oggetto da sopra, più o meno parallelamente all’asse ottico, in modo da eliminare o ridurre molto le ombre anche se l’oggetto è incavato; si illumina dallo stesso lato da cui si osserva.

Numerose sono le realizzazioni pratiche. Ecco le principali.

◇◇ Vi può essere un piccolo specchio (o prisma a riflessione totale (fig. 34 A) disposto fra i due obbiettivi o fra i due canali di un obbiettivo CMO . Esso rinvia verso il basso, lungo un asse che è la bisettrice dell’angolo di stereo, il fascio orizzontale che proviene da una normale micro-lampada, magari la stessa prevista per l’illuminazione episcopica obliqua, descritta nelle pagine che precedono (la quale naturalmente dovrà possedere un supporto che le consenta di assumere la posizione corretta).

◇◇ Vi può essere una lamina semi-riflettente S , disposta a 45° sull’asse, sotto l’obbiettivo (fig. 120).

Anche qui, la lampada L è disposta con l’asse orizzontale ed una parte del fascio da essa prodotto è rimandata dall’alto sull’oggetto O . Il semi-riflettente S produce evidentemente una perdita fotometrica, ma gli è consentito di avere grandi dimensioni; lo specchietto del caso precedente è invece piccolo e limita il fascio illuminante poiché deve stare nel piccolo spazio fra i due “canali”. Il semi-riflettente, interponendosi fra obbiettivo ed oggetto, riduce la WD; anche per questo motivo, esso non è quasi mai usato nei microscopi non stereoscopici.

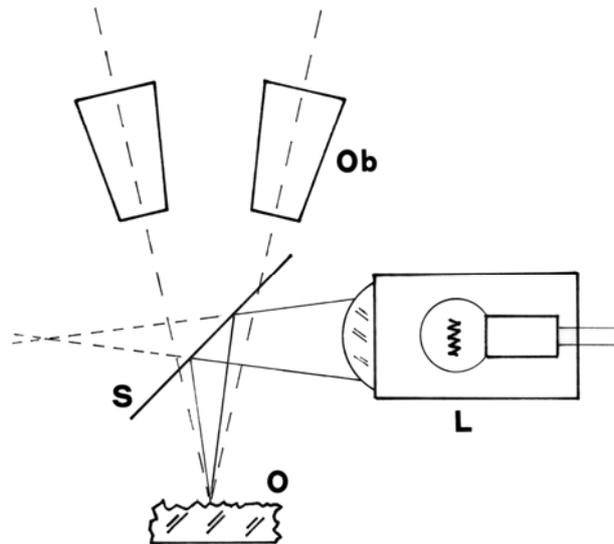


Fig. 120

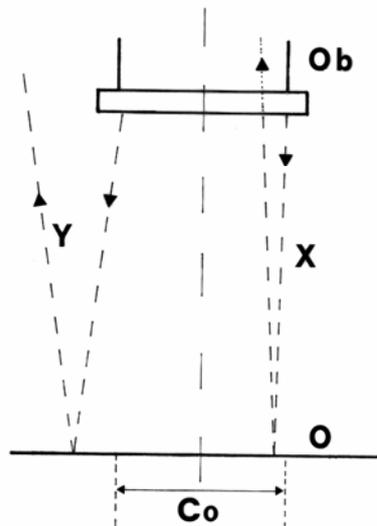


Fig.121

◇◇ Vi possono essere due semiriflettenti, uno per canale, disposti sopra l'obbiettivo. È lo schema di un normale microscopio episcopico per metallografia, con l'unica differenza che tutto il sistema è doppio. I due semiriflettenti, magari con le due lampade relative, sono alloggiati in un apposito contenitore che si interpone fra obbiettivo e scatola prismi. Questa soluzione è costosa ed in più presenta un altro problema: se l'oggetto è riflettente (come un oggetto metallico lucido) ed inoltre se è piano e perpendicolare alla bisettrice dell'angolo di stereo (come in fig. 113 nel § 29.3), la radiazione proveniente da un obbiettivo (per es. Ob in fig. 113) viene riflessa dall'oggetto O verso l'altro obbiettivo; sull'immagine delle strutture dell'oggetto si sovrappone allora un noioso riflesso. Per evitare ciò, alcuni costruttori pongono da ognuno dei due lati, fra lampada e semiriflettente, un filtro polarizzatore; un altro filtro si pone fra semiriflettente ed oculare. Le cose sono disposte in modo che la radiazione che proviene da un obbiettivo ed è riflessa dall'oggetto venga estinta trovando il secondo

polarizzatore incrociato col primo: il riflesso viene così eliminato.

Gli illuminatori coassiali non servono ad ingrandimento molto basso: se il campo oggetto (Co in fig. 121) si confronta col diametro dell'obbiettivo (Ob), un raggio del fascio illuminante (X) può rientrare nell'obbiettivo (e quindi illuminare utilmente l'oggetto) solo per un campo oggetto Co più piccolo od eguale alla superficie utile di Ob ; un raggio più inclinato (Y), che potrebbe illuminare un campo Co più grande, viene riflesso fuori da Ob e va perduto. Il campo massimo illuminabile non supera quindi le dimensioni dell'obbiettivo. Se l'oggetto è diffondente o irregolare, questo discorso perde molto di validità.

29.12 - ILLUMINAZIONE DIASCOPICA

Si potrebbe ripetere qui tutto quanto è stato detto per i microscopi normali, ma il minore ingrandimento e la minore apertura dello stereomicroscopio pongono esigenze assai meno stringenti. Basti pensare che normalmente non è necessario il condensatore e quindi neppure il diaframma di campo o la lente a grande campo, ecc.

29.12.1 - Fondo chiaro

In molti stereomicroscopi è presente come parte della base, o come accessorio da applicare, un semplice dispositivo diascopico costituito da una microlampada e da uno specchio.

La microlampada, ad asse orizzontale, può essere la medesima usata per l'episcopia, e spesso sono appunto previsti due diversi innesti per la stessa lampada. Si tratta di una lampada molto semplice, con un porta-lampada generalmente non centrabile (se sono previste ampole pre-centrate, esse sono superflue, e molto più costose di quelle normali), ed un collettore semplice, spesso con una superficie smerigliata. Può esservi un mezzo per variare la distanza fra ampolla e collettore, ma questo ancora una volta non serve per avere un'immagine nitida del filamento ma per variare il diametro del fascio illuminante. Vi possono essere uno o più porta-filtri. Non serve il diaframma di campo.

Sotto al piano del tavolino, in asse con l'obbiettivo, e di fronte alla lampada, vi è uno specchio, spesso orientabile attorno ad un asse trasversale; lo specchio ha spesso due facce: una speculare ed una diffondente, al fine di allargare il fascio illuminante. Infatti, per illuminare entrambi i canali dello stereo, occorre un fascio ampio, che una semplice lampada stenta a fornire; certi costruttori (Zeiss) offrivano degli illuminatori doppi per microscopi stereoscopici: due lampade che convergono verso il piano oggetto formando fra di loro un angolo pari all'angolo di stereo e che illuminano in maniera centrata entrambi gli obbiettivi. Ma si tratta di raffinatezze poco frequentate.

Sopra lo specchio, al centro del tavolino o della base, è appoggiata una piastra di vetro, spesso smerigliata su un lato (faccia lucida in alto, visto che è più facile pulirla), su cui si pone l'oggetto trasparente. L'apertura del fascio dato da un vetro smerigliato è generalmente sufficiente a "riempire" l'apertura di un obbiettivo di stereomicroscopio.

29.12.2 - Fondo scuro

Un semplice illuminatore diascopico come quello appena descritto fornisce un fondo chiaro quando il fascio illuminante penetra almeno in parte in entrambi gli obiettivi. Ma può fornire anche il fondo scuro se lo specchio è opportunamente disassato rispetto al campo oggetto ed inclinato; il fascio illuminante può allora giungere sull'oggetto obliquamente, quel tanto che basta da sfuggire al cono di apertura dell'obiettivo. La piccola apertura di codesto cono negli stereomicroscopi rende semplice questo problema.

Spesso, gli stessi dispositivi diascopici che danno il fondo chiaro, possono convertirsi al campo scuro con un movimento od una sostituzione di specchi. Occorrerà in genere togliere il o i vetri smerigliati, per evitare che il fascio diffuso penetri nell'obiettivo e tolga lo "scuro" al fondo dell'immagine. Si ottiene così un fondo scuro unilaterale.

Per un fondo scuro omnilaterale o anulare occorre un vero e proprio condensatore, generalmente a specchi (catottrico) come i condensatori "cardioidi" dei microscopi normali. Un tale condensatore si sistema nella o sulla base dello strumento.

29.13 - Lo STATIVO

Si può ripetere anche qui tutto ciò che è stato detto sulle parti meccaniche dei microscopi normali. Ma le esigenze di rigidità e di centratura dello stereomicroscopio sono assai minori, essenzialmente per il minore ingrandimento e la maggiore penetrazione. Tanto per dirne una, la messa a fuoco può essere fatta col movimento macrometrico e normalmente manca una micrometrica. Così manca tutta la meccanica relativa al condensatore; quella relativa alla microlampada è assai semplice.

I tubi a gomito sono già stati descritti, e differiscono dai normali tubi bioculari perché sono costituiti da due sistemi ottici appaiati con assi ottici non paralleli.

Dei vari tipi di revolver si è già parlato.

La maggior focale in genere dei sistemi ottici dello stereomicroscopio rende meno critiche le operazioni di centratura, specie quella intrinseca dell'obiettivo; per contro, esistendo due sistemi ottici centrati su uno stesso campo oggetto, si aggiungono problemi di centratura che non esistono nei microscopi normali: alludiamo in particolare alla centratura reciproca dei due obiettivi o dei sistemi intermedi; quando vi è un sistema zoom, è molto critico ottenere la parcentratura e la parfocalità dei due canali per tutta la corsa dello zoom; quando vi sono due o più sistemi galileiani (§ 29.7.3) anch'essi debbono essere tutti parcentrati e parfocali. L'allineamento di uno stereomicroscopio è dunque assai laborioso.

29.13.1 - Accessori speciali

Nel § 27.7.1 (fig. 109) è stato descritto un “**oculare per due osservatori**”, ma questo accessorio serve poco in stereomicroscopia essendo monoculare. L’osservazione stereoscopica da parte di due persone si può fare nel nostro caso con un tubo intermedio speciale capace di trasportare entrambi i canali verso due coppie di tubi porta-oculari.

Esistono anche qui i “**tubi di confronto**” (vedi il § 27.7.2) che si appoggiano su uno solo dei due oculari di due distinti microscopi, e pertanto fanno perdere la visione stereoscopica.

Esistono dei **tubi intermedi** (da porre fra corpo e scatola prismi) contenenti due diaframmi ad iride a movimento sincrono; essi servono a ridurre l’apertura degli obbiettivi ed aumentare la profondità di fuoco, e sono preziosi in fotografia; però essi provocano tutti i fenomeni conseguenti ad una perdita di apertura e che già conosciamo (perdita di luminosità e risoluzione, essenzialmente).

Per l’osservazione su oggetti di grandi dimensioni, è possibile a volte “prolungare” il tubo binoculare con un tubo intermedio orizzontale lungo fino a 50 cm. Vi sono anche tubi intermedi per variare l’inclinazione del tubo binoculare o tubi ad inclinazione variabile con continuità, che vanno sotto il nome pomposo di “tubi ergonomici”.

Esistono anche in stereomicroscopia gli “**oculari da disegno**” (§ 27.7.1, fig. 110) come anche i “**tubi da disegno**” (§ 27.7.2), i quali ovviamente operano su uno solo dei due canali stereo.

Vi sono poi tutti i dispositivi di misura già menzionati a suo tempo: **oculari micrometrici** e simili. Nella misura degli “**equivalenti micrometrici**” (§ 12.3), un sistema zoom consente di ottenere dei valori interi, eliminando i decimali. Basta poi non variarne la regolazione ...

Naturalmente, esistono tutti i possibili raccordi ed adattatori per riprese televisive e fotografiche, i quali ovviamente operano su uno solo dei due canali²¹⁰. Durante la ripresa, alcuni modelli deflettono completamente il canale ripreso ed impediscono la visione binoculare. In altri casi, un gioco di semiriflettenti evita questa obliterazione. Vi sono anche raccordi che permettono di scegliere con una semplice manovra quale dei due canali utilizzare per la ripresa.

Si trovano poi molti accessori per alcune tecniche speciali:

◊◊ **Radiazione polarizzata.** Si tratta di accessori semplificati rispetto a quelli di un microscopio polarizzatore, se non altro perché la piccola apertura rende impossibile la conoscopia e quindi inutile la lente di Amici (§ 19.5.5) ed il condensatore. Come filtro polarizzatore per la diascopea, si adopera di solito un filtro Polaroid incollato fra dischi di vetro, da inserire nell’apposita finestra della base diascopea. Per l’episcopia, si può porre un polarizzatore sulla microlampada ma si ricordi che i polarizzatori del tipo “Polaroid” sono molto sensibili al calore ed inoltre la radiazione polarizzata in episcopia crea dei fenomeni assai complessi e difficili da interpretare.

L’analizzatore è contenuto in un anello che va fissato sotto l’obbiettivo. Raramente sono previsti dei compensatori. Quando la variazione della distanza interpupillare provoca una rotazione azimutale dell’immagine (§ 29.4.3), anche l’uso di un reticolo a croce diviene inutile.

²¹⁰ Sono stati realizzati (WILD, ad es.) dei sistemi fotografici per stereomicroscopi capaci di riprendere simultaneamente entrambe le immagini; tali coppie di fotografie, esaminate poi con un normale stereoscopio, possono ridare una visione con sensazione del rilievo dell’oggetto.

◇◇ Fluorescenza. Per la diascopea, si possono usare gli stessi filtri previsti per i microscopi normali, ma raramente la normale microlampada sarà sufficiente. Si può usare più facilmente la microlampada prevista per l'illuminazione episcopica obliqua. I filtri di eccitazione andranno posti davanti alla lampada; quelli di arresto sotto l'obbiettivo o sopra l'oculare. Esistono però dei tubi intermedi contenenti uno specchio semiriflettente dicromatico, come si usa nei microscopi normali per la fluorescenza in episcopica. L'unica differenza è che tutto il sistema deve essere doppio. In questi casi può essere prevista una lampada speciale, ad arco, a vapori di mercurio. In realtà, c'è un'altra differenza: l'apertura dell'obbiettivo è piccola e così avverrà della resa fotometrica del sistema.

L'osservazione della fluorescenza al microscopio stereoscopico è utilizzata, per es., nello studio dei pigmenti durante il restauro di quadri antichi, nello studio delle falsificazioni o alterazioni della scrittura di manoscritti, nello studio di minerali e gemme.

◇◇ Illuminazione in infrarosso: con opportuni filtri ed una normale microlampada non è difficile illuminare un oggetto nella banda IR; per avere un'immagine visibile occorrerà sistemare in luogo di ognuno dei due oculari un "convertitore d'immagine" (PZO, Wild, ecc.). Queste osservazioni servono ancora per rivelare alterazioni di manoscritti, documenti, ecc.

29.13.2 - Tavolini

Sul microscopio stereoscopico è possibile applicare, almeno con i migliori costruttori, tutti i tavolini previsti per i microscopi normali (§ 26): fissi, con e senza guida-oggetti (§ 26.2), girevoli (§ 26.3) anche centrabili (specie per l'uso in radiazione polarizzata), traslatori (§ 26.4), a sfregamento grasso o a scivolamento (§ 26.6), ecc.

Vi sono però un paio di tipi che sono più o meno esclusivi dei microscopi stereoscopici:

◇◇ Traslatori di grandi dimensioni: si tratta in sostanza di traslatori in cui la corsa X ed Y è molto grande (fino a 500 mm). Il centro del tavolino deve portare una piastra di appoggio (in vetro per la diascopea) con i lati almeno uguali alla due corse X ed Y. Il movimento può avvenire a mano (a scivolamento o con cremagliera), o motorizzato; a volte il movimento è "digitizzato", cioè trasformato da appositi "codificatori" in impulsi elettrici digitali che un opportuno circuito può elaborare in modo da programmare i movimenti del tavolino stesso. Tali tavolini sono usati per lo studio di grandi circuiti stampati, piastre di silicio per semiconduttori, ecc. Per quest'ultima applicazione, i grandi traslatori sono ora presenti anche in molti microscopi episcopici mono-obbiettivo.

Per consentire i movimenti del traslatore, la distanza fra asse ottico e colonna verticale di supporto del sistema ottico deve essere almeno pari allo spostamento Y (sagittale) del traslatore stesso. Lo stativo andrà dimensionato di conseguenza.

◇◇ A rotula: si tratta di congegni su cui è possibile poggiare o fissare l'oggetto, e che possono venir inclinati in tutte le direzioni. Nel tipo più semplice, si tratta di una semi-sfera (in metallo o plastica) di qualche centimetro di diametro, poggiata sull'orlo di un foro circolare, presente nella base o in apposito raccordo. Se il foro è centrato, il centro di rotazione della semi-sfera si trova sull'asse del sistema e, se l'oggetto è piccolo e poggiato sul centro della semisfera, non si sposta ruotando la medesima e "non va fuori fuoco": semplicemente ruota attorno a se stesso. È un metodo semplice e comodo per osservare da tutti i lati un oggetto piccolo.

Bisogna comunque ammettere che, normalmente, in uno stereomicroscopio, non si sente il bisogno di un tavolino traslatore: basta una piastra di appoggio su cui spostare a mano l'oggetto.

29.13.3 - Modelli speciali

La semplicità d'uso dello stereomicroscopio e la vastità delle sue applicazioni hanno stimolato la creazione di molteplici modelli destinati a risolvere problemi particolari.

Possiamo solo accennare ad alcuni tipi, legati a due gruppi principali di applicazioni.

◊◊ Lavorazioni meccaniche, elettroniche, ecc. Esistono “modelli d'officina”, dotati di supporti particolari, che consentono di portare lo strumento molto lontano dal punto di appoggio e di spostarlo rapidamente. Vi sono supporti da tavolo con una pesante base ed un braccio orizzontale a sbalzo lungo anche più di 500 mm (vedi la fig. 116 nel § 29.5); la distanza fra l'asse di osservazione e la colonna di supporto indica la dimensione massima dell'oggetto osservabile. Vi sono supporti “a pinza”, in cui la colonna di supporto verticale è fissata all'orlo del piano del tavolo con una robusta pinza. Vi sono supporti a colonna in cui la colonna verticale poggia sul pavimento tramite tre piedi dotati di ruote; vi sono perfino modelli fissati ad un carrello per spostamenti rapidi su grandi distanze.

Tutti questi supporti devono anche consentire un orientamento del microscopio in tutte le direzioni, in modo da permettere l'osservazione di superfici variamente inclinate. Per superfici vicine alla verticale, possono essere previsti tubi binoculari dritti, che mettono gli oculari in linea con gli obiettivi. Vi sono anche tubi “ergonomici”, cioè ad inclinazione variabile, già citati, che consentono la più comoda posizione del capo indipendentemente dall'inclinazione dell'obiettivo; essi contengono un complesso gioco di prismi, il che ne aumenta il prezzo ed il peso.

Quando l'oggetto non è facilmente accessibile, sono previsti modelli a grande distanza di lavoro WD , anche più di un metro; si parla allora di “tele-microscopi”, che sconfinano, a parte l'effetto stereoscopico, con il catetometro²¹¹. L'aumento di WD va ovviamente a scapito dell'angolo di stereo (riduzione dell'effetto stereoscopico) ma anche della risoluzione (riduzione dell'apertura). In certi casi, la messa a fuoco non si fa spostando lo strumento nel suo complesso rispetto all'oggetto (il supporto è assai pesante), ma con mezzi ottici interni allo strumento, come un sistema pancratico. La distanza oggetto-obiettivo (oggetto-microscopio) rimane così costante.

Per gli spostamenti del microscopio rispetto al braccio di supporto, per es. al fine di variarne l'orientamento, e del braccio rispetto alla colonna, vi sono vari snodi, che debbono presentare il minor attrito possibile; quando lo strumento è arrivato in posizione di lavoro, gli snodi vanno però bloccati per evitare spostamenti involontari. Il blocco può essere meccanico (viti, leve, ecc.), elettromeccanico (frizioni elettromagnetiche), ecc. Il sistema elettromagnetico è assai comodo perché permette, con un solo pulsante, di bloccare simultaneamente tutti gli snodi.

Nei migliori strumenti, il microscopio contiene o porta molti accessori: lampade di vario tipo, spesso coassiali, macchina fotografica, illuminatore flash, tubo per un secondo osservatore (monoculare o binoculare), telecamera per la visione a distanza da parte di allievi o apprendisti, ecc.

◊◊ Applicazioni mediche, cliniche, chirurgiche. Ciò vale per la neurochirurgia, l'otoiatria, l'oculistica (in abbinamento con la “lampada a fessura”), la microchirurgia in

²¹¹ Il catetometro è un piccolo cannocchiale, che può essere focalizzato su distanze anche modeste, ed è portato da un supporto speciale che gli consente di muoversi in orizzontale ed in verticale, sempre perpendicolarmente al suo asse ottico. Focalizzandolo e spostandolo in modo da portare al centro del suo campo visivo (indicato da apposito crocifilo oculare) vari punti di un oggetto anche lontano, e misurando su apposite scale l'ampiezza dei suoi movimenti, il catetometro permette di misurare in un sistema cartesiano le distanze fra punti qualunque dell'oggetto, naturalmente supponendo l'oggetto proiettato sul piano in cui si svolgono i movimenti dello strumento.

genere, la ginecologia (“**colposcopi**”), la dermatologia. Si può parlare globalmente di “**microscopi operatori**”.

Le prestazioni particolari assomigliano a quelle già citate, con particolare accento sul tubo per secondo osservatore (l’assistente chirurgo), sulla lampada coassiale, sulla scorrevolezza dei movimenti del supporto, sulla stabilità della messa a fuoco, ecc. La colonna contiene spesso gli alimentatori per la lampada ed il flash e deve essere molto pesante per garantire la stabilità: infatti gli strumenti, già appesantiti dal gran numero di accessori, debbono spesso essere portati su un letto clinico o un tavolo operatorio, quindi con notevole sbalzo.