

## Art. n° 45 – II “TELAN”, QUESTO SCONOSCIUTO

Se qualcuno tentasse di sfogliare un trattato di ottica o di microscopia alla ricerca del termine “Telan” farebbe molta fatica. Nelle rare citazioni di esso – ne vedremo un paio, poco chiarificanti – il termine viene associato a quello di “telecentrico”, il che è corretto solo parzialmente, o perlomeno è troppo generico. Preciseremo anche questo termine.

Per ora, definiamo Telan un sistema ottico composto, che comprende **due membri** di scarsa potenza, uno divergente all’ingresso, uno convergente all’uscita, **non afocale**, spesso impiegato in microscopia per varie funzioni, che vedremo. Un membro convergente ed uno divergente potrebbero far pensare alla struttura di un cannocchiale “galileiano” ma, come vedremo, il funzionamento è assai diverso.

Infatti, guardare in un sistema Telan è poco gratificante: da una parte si vede un’immagine sfocata poco ingrandita, dall’altra un’analogia immagine poco impiccolita.

Intanto definiamo il termine “**afocale**”, anch’esso poco frequentato. In qualche seria enciclopedia quella voce rimanda ad un sistema ottico centrato con una distanza dell’oggetto e dell’immagine entrambe infinite. Dire che i piani oggetto ed immagine si trovano “all’infinito” è come dire che, per ogni punto presente in quei piani, i raggi (geometricamente intesi) che incidono sul sistema od emergono da esso formano un **fascio parallelo** (...le parallele s’incontrano all’infinito...). Sembra un discorso complicato ma, a ben pensarci, tutte le volte che guardiamo il cielo stellato, un “fascio parallelo” incide sulla nostra cornea per ogni stella visibile.

Un esempio molto banale di sistema ottico afocale potrebbe essere il vetro della nostra finestra: salvo imperfezioni, il “fascio parallelo” che incide su di esso da qualunque sorgente lontana, emerge altrettanto parallelo. Ma siamo seri. Un esempio più concreto è qualsiasi telescopio, cannocchiale o binocolo focalizzato verso un panorama lontano o il cielo stellato: sappiamo, infatti, che l’oggetto sarà in quel caso a distanza praticamente (otticamente) infinita e l’immagine, se la focalizzazione è corretta, deve essere virtuale a distanza altrettanto infinita – in modo da evitare qualunque sforzo di accomodazione all’osservatore.

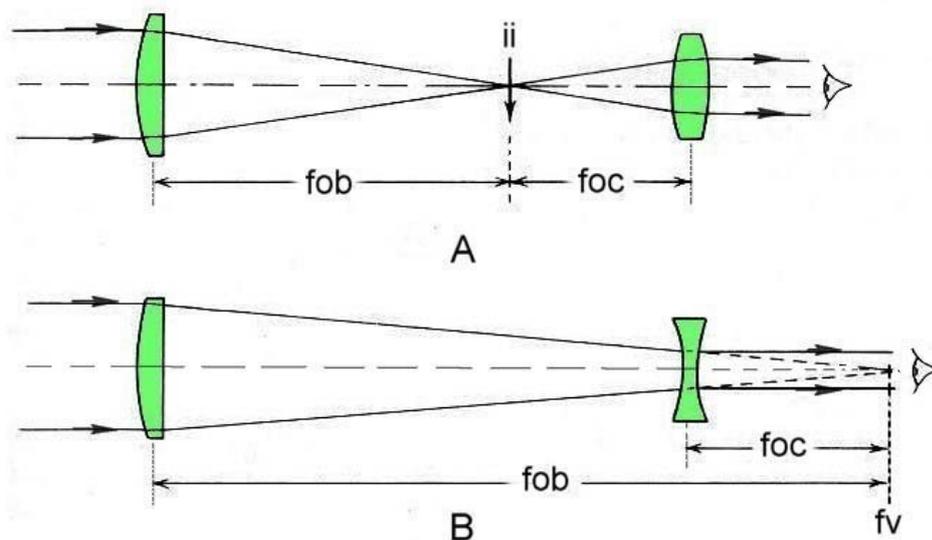


Fig. 1 – Questa figura, anche se ridotta all’essenziale, merita molta riflessione.

In A si vede lo schema elementare di un cannocchiale secondo lo schema di Keplero, in B secondo lo schema di Galileo. A sinistra l’oggetto (infinitamente lontano) e l’obiettivo; a destra l’oculare e l’immagine virtuale, sempre a distanza infinita, che l’occhio può raccogliere, possibilmente non “accomodato”.

Nel primo caso, l’oggetto a distanza infinita (negli schemi ottici, l’oggetto sta sempre a sinistra del sistema) po-

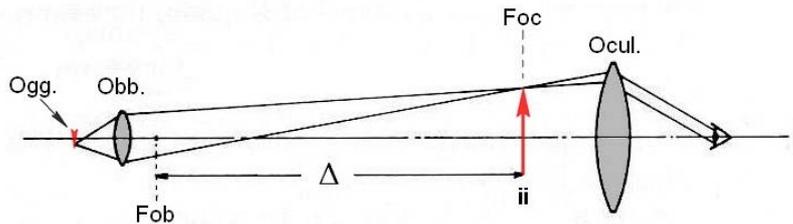
trebbe essere costituito da una freccia con la punta all'insù. In "ii" (possiamo chiamarla "immagine intermedia"?), quindi nel piano focale dell'obiettivo, si forma la classica immagine reale capovolta impiccolita dell'oggetto. Dopo di questa si trova un altro sistema convergente – di focale minore, altrimenti il sistema non potrebbe ingrandire – che viene detto "oculare", visto che davanti ad esso si deve porre l'occhio. In condizioni di funzionamento corretto, il primo fuoco dell'oculare deve coincidere con ii ed in queste condizioni, per definizione, l'immagine finale si trova a distanza infinita.

Il sistema "kepleriano" quindi riceve e fornisce fasci "all'infinito"; i suoi piani focali (oggetto ed immagine) sono a distanza infinita: è come dire che non possiede punti focali; la sua lunghezza focale è quindi infinita.

Per inciso, occorre precisare che, quando parliamo di "fascio parallelo", intendiamo che i raggi che incidono od emergono da un sistema ottico sono paralleli fra loro, sì, ma solo se provengono o convergono verso un singolo punto del piano oggetto o del piano immagine. Per intenderci, i raggi che una stella invia al mio binocolo saranno anche paralleli fra loro, ma non paralleli a quelli che invia un'altra stella in un'altra regione del cielo. In altre parole, il piano oggetto e quello immagine non sono puntiformi; nel caso del cielo o di un panorama, piuttosto estesi.

Nel sistema kepleriano la distanza fra le lenti è pari alla somma delle due focali. La distanza fra il fuoco (lato immagine) dell'obiettivo ed il fuoco (lato oggetto) dell'oculare è nulla. Tale distanza, nel microscopio ottico, è chiamata "lunghezza ottica del tubo" ed è indicata con la lettera d (delta) maiuscola greca:  $\Delta$ , come si vede nello schizzo qui sotto.

Fig. 2 – Schema elementare di microscopio ottico, in cui è messa in evidenza la lunghezza ottica del tubo" ( $\Delta$ ) e la posizione dei due fuochi (posteriore dell'obiettivo ed anteriore dell'oculare).



L'immagine finale, formata dall'oculare e raccolta dall'occhio, si forma ancora a distanza infinita.

Nel sistema kepleriano  $\Delta$  è pari a zero, mentre nel microscopio ottico  $\Delta$  è molto superiore alla focale di obiettivo e di oculare. In quest'ultimo strumento, infatti, l'obiettivo lavora con oggetto vicino e con coniugata immagine (distanza fra obiettivo ed immagine intermedia) molto maggiore della focale dell'obiettivo.

L'ingrandimento visuale nel cannocchiale kepleriano, come si può dimostrare con semplici considerazioni geometriche, è pari al rapporto delle focali:  $V = f_{ob}/f_{oc}$ . Nel microscopio le cose sono più complesse.

Nella parte inferiore (B) della fig. 1 vediamo invece lo schema di un cannocchiale "galileiano", ad oculare divergente. Qui, il fuoco dell'obiettivo ( $f_v$ ) giace oltre l'oculare ed ivi si trova anche il fuoco dell'oculare. Se lo strumento è focalizzato su un oggetto a grande distanza, in  $f_v$  si forma un'immagine intermedia virtuale dell'oggetto.

In questo schema, la distanza fra le lenti è pari alla differenza fra le due focali.

Poiché i due fuochi ancora coincidono, si può ripetere che  $\Delta = 0$ , ma non esiste un'immagine intermedia reale.

Come è noto, il sistema galileiano fornisce un'immagine diritta mentre il kepleriano la dà rovesciata ed ha bisogno di un sistema intermedio (riflessioni multiple in un sistema di prismi o lenti "relé" – vedi oltre) per raddrizzarla. Un cannocchiale capace di fornire un'immagine diritta è spesso chiamato "terrestre", contrapposto a quello che dà l'immagine rovesciata, chiamato "astronomico" (l'immagine di una stella si legge bene sia al dritto che al rovescio).

Possiamo allora concludere che qualunque sistema a cannocchiale o telescopio correttamente focalizzato<sup>1</sup>, riceve "fasci paralleli" da un oggetto a distanza (più o meno) infinita e li trasforma in fasci paralleli che convergono in un'immagine, sempre a distanza infinita. Detto così sembrerebbe un oggetto inutile, ma l'angolo sotto cui è visto l'oggetto tramite lo strumento è sempre maggiore dell'angolo sotto cui è visto lo stesso oggetto ad occhio nudo: quello strumento "ingrandisce", o piuttosto fornisce un'immagine ingrandita dell'oggetto.

Comunque, abbiamo chiarito questo: **un sistema ottico si chiama afocale se possiede fuochi lato oggetto e lato immagine a distanza infinita**. Il microscopio non ricade in questa definizione poiché il suo fuoco oggetto è assai vicino all'obiettivo.

Se abbiamo illustrato il sistema galileiano non è solo per chiarire qualche concetto teorico: esso trova applicazione anche nel microscopio ottico. Ricordiamo, infatti, che il "galileiano", come qualunque tipo di telescopio, fornisce un'immagine ingrandita se usato dal verso giusto,

<sup>1</sup> Un qualunque strumento ottico a cui si possa accostare l'occhio deve produrre un'immagine virtuale a distanza infinita in modo da evitare che l'osservatore debba sforzare il proprio meccanismo di accomodazione e così possa operare con l'occhio in condizioni di riposo.

ma impiccolisce se usato alla rovescia, guardando dentro l'obiettivo.

Volendo variare anche di poco l'ingrandimento di uno strumento, il sistema più semplice è proprio quello di introdurre fra obiettivo ed oculare un debole sistema galileiano e di consentirgli di operare in due posizioni opposte; rispetto al funzionamento "di base" si potranno così ottenere ingrandimenti un poco maggiori o un poco minori. Un opportuno sistema meccanico consentirà di rovesciare il sistema galileiano intermedio o di sostituire un sistema con un altro.

Per rispettare la modalità corretta di funzionamento di questo sistema occorre inserirlo fra fasci paralleli, lato obiettivo e lato oculare. Ciò si può fare nei microscopi "a seconda coniugata infinita" – vedi la figura a lato.

Fig. 3 – Rispetto allo schema classico "a seconda coniugata finita" (a sinistra), lo schema "a coniugata infinita" (a destra) suppone un oggetto posto esattamente nel primo piano focale dell'obiettivo. Per definizione, ad ogni punto del piano oggetto corrisponde un fascio parallelo emergente dall'obiettivo.

Per ricavarne un'immagine reale che l'oculare seguente possa raccogliere occorre far seguire, a poca distanza sopra l'obiettivo, una debole lente convergente ("lente di tubo") che fa convergere il fascio parallelo emergente dall'obiettivo nel proprio piano focale: qui si forma l'immagine intermedia.

Nel caso che il livello della "spalla" dell'obiettivo corrisponda al secondo piano principale di esso, lo spazio indicato nella figura con D è percorso da fasci paralleli, uno per ogni punto dell'oggetto.

È in questo spazio che si può introdurre un sistema galileiano per una piccola variazione dell'ingrandimento finale.

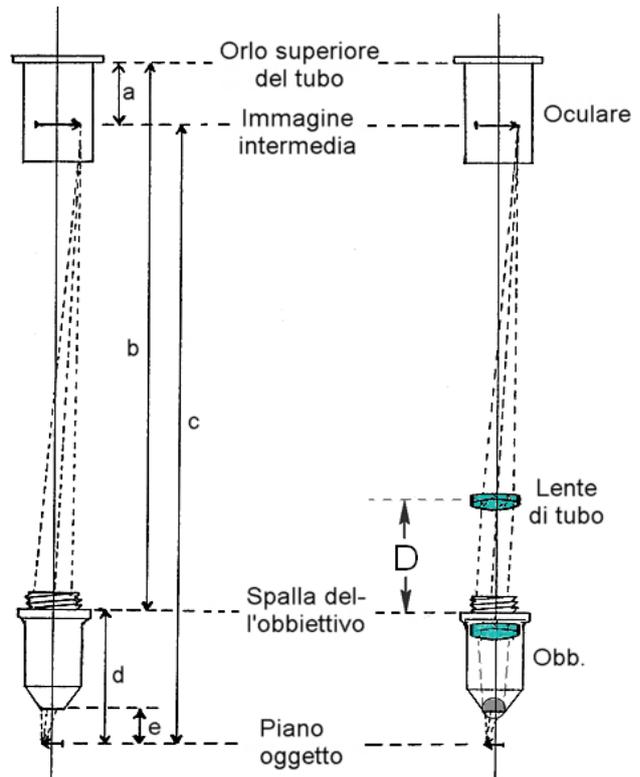


Fig. 4 (sotto) – Schema essenziale di un microscopio "a seconda coniugata infinita". LT è la lente di tubo. L'oggetto Og è nel primo fuoco dell'obiettivo. L'immagine intermedia (ii) nel secondo fuoco di LT.

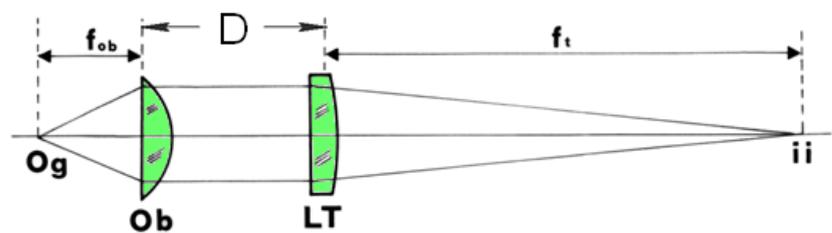
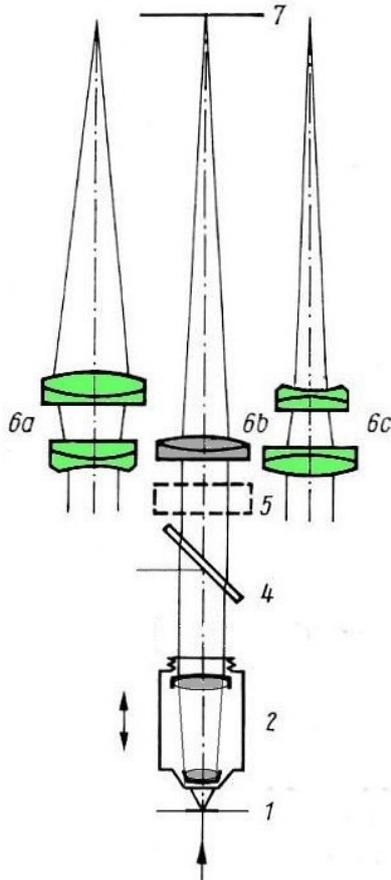


Fig. 5 (a sinistra) – Al centro della figura troviamo lo stesso schema classico di microscopio "a seconda coniugata infinita" delle figure precedenti. La lente di tubo è indicata con 6b.

A destra ed a sinistra sono invece schematizzati due sistemi a due membri ciascuno, divergente e convergente; assomigliano a due sistemi galileiani, dritto e rovescio, ma verso l'oculare producono piuttosto un fascio convergente verso il piano 7 dell'immagine intermedia.

Non si tratta dunque di sistemi afocali, ma rappresentano una modifica del sistema galileiano, utilizzata per sostituire la lente di tubo (6b), produrre un fascio convergente, ma con qualche potere d'ingrandimento o di riduzione delle dimensioni dell'immagine intermedia.

Si realizza così una possibilità di "variante d'ingrandimento", di cui vedremo altri esempi.



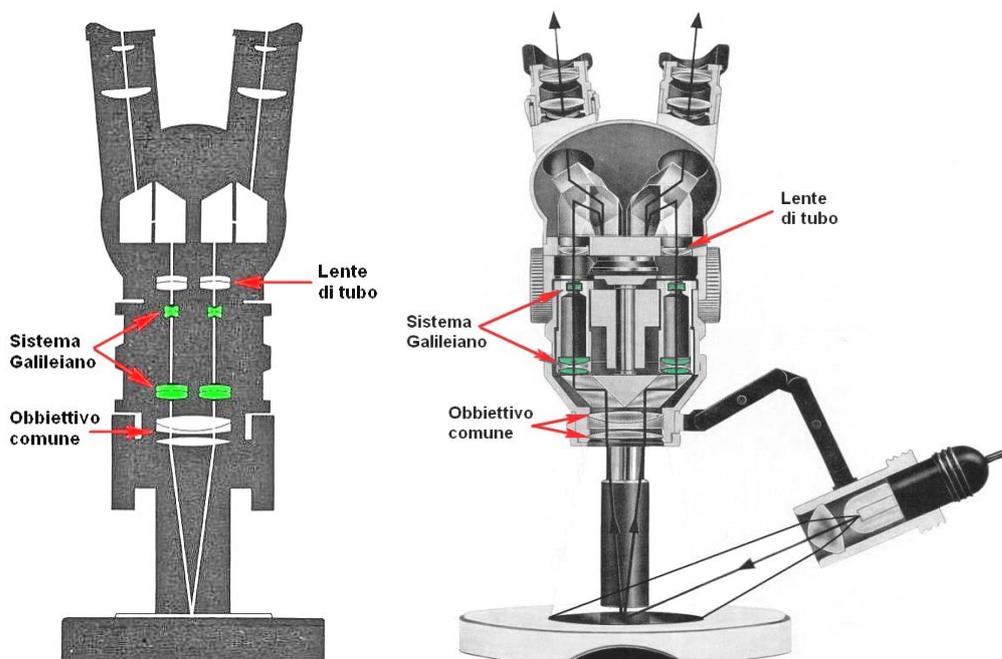
Ricordiamo che lo schema "a coniugata infinita" è stato introdotto fin dalla fine del '800 per

una ragione molto pratica. Nei microscopi polarizzatori è normale introdurre od estrarre spesso fra obiettivo ed oculare un filtro polarizzatore. Oggi questi filtri, del tipo “Polaroid”, sono sottili e la loro presenza non altera sensibilmente la geometria del sistema. Ma in passato il polarizzatore era costituito da un prisma speciale a base di calcite (il cosiddetto “Nicol”) di forte spessore, limitato da facce piane e parallele: in un cammino convergente (obiettivi a coniugata finita) la sua introduzione provocava un “avanzamento dell’immagine”<sup>2</sup> pari a circa un terzo dello spessore del prisma, quindi una forte perdita della messa a fuoco. L’unico modo di evitare questo era di porre il prisma all’interno di un fascio parallelo, come appunto si trova nello spazio D delle figure precedenti. Così nacquero le prime ottiche “all’infinito”.

Problema analogo nasce ancora oggi in certi sistemi episcopici a fondo chiaro in cui la superficie semiriflettente posta sopra l’obiettivo costituisce la superficie interna diagonale di un prisma di notevole spessore. Stesso effetto sull’alterazione del fuoco e stessa soluzione.

Un caso assai più frequente di applicazione di un sistema galileiano classico in funzione di “variante d’ingrandimento” si trova in molti microscopi stereoscopici, perlomeno del tipo CMO. In tali strumenti, infatti, l’obiettivo principale, comune, è seguito da due lenti di tubo, una per ogni canale: l’obiettivo è “a seconda coniugata infinita”. Nello spazio interposto si pone spesso un meccanismo che permette d’inserire uno o due sistemi galileiani, con possibilità di rovesciarli in modo da ottenere due diversi ingrandimenti per ognuno.

**Figg. 6 e 7**  
 Due esempi di strumenti stereo commerciali secondo lo schema CMO classico, contenenti vari sistemi galileiani in funzione di cambiatori d’ingrandimento. (Wild M4 ed M5).



Anche molti sistemi zoom per microscopi mono-obiettivo o stereoscopici possono funzionare col principio “afocale”.

Avendo chiarito il principio e qualche applicazione dei sistemi afocali, occorre adesso definire il termine “**telecentrico**”.

Semplice: finora abbiamo usato il concetto di “fascio parallelo” emergente o convergente verso un punto di un piano oggetto o di un piano immagine posti a distanza infinita. “**Parallelo**” è sinonimo di “**telecentrico**” o, per estensione, “collimato”; per essere precisi, è telecentrico un sistema ottico in una parte del quale si trova un fascio parallelo. Il termine ha una radice greca: “tele” = “lontano”; “centrico” si riferisce al punto d’emergenza o di convergenza del fascio. Un fascio telecentrico trasporta un’onda sferica il cui punto di convergenza, il cui centro, si trova a distanza infinita. Sarebbe più semplice dire che quell’onda è piana, ma i teorici dicono che un piano non è altro che una sfera di raggio infinito. Basta intendersi.

<sup>2</sup> L’avanzamento A è pari a:  $A = [(n - 1) / n] \cdot d$ , in cui **n** e **d** indicano l’indice e lo spessore del prisma.

Ora ripensiamo a quanto detto finora ed a tutti i fasci telecentrici che abbiamo incontrato senza qualificarli con quell'aggettivo.

Già nella fig. 1, i due modelli fondamentali di telescopio sono telecentrici rispetto allo spazio oggetto ed immagine: da ambo i lati hanno a che fare con fasci paralleli.

In fig. 2 (schema elementare di microscopio) il sistema è telecentrico nello spazio dell'immagine finale, cioè dell'occhio dell'osservatore.

Ogni strumento a cui va applicato l'occhio, nello spazio dell'immagine finale, oltre l'oculare, è telecentrico, o dovrebbe esserlo.

Nelle figure 3, 4 e 5, il microscopio è telecentrico nello spazio D fra obiettivo e lente di tubo. Stessa cosa per i microscopi stereo a CMO (figg. 6 e 7).

Anche il nostro occhio, nello spazio oggetto, è telecentrico, almeno se l'oggetto è a grande distanza.

Altri sistemi telecentrici si possono trovare nelle "lenti relè" a due membri. Le lenti-relè<sup>3</sup> servono in genere al trasporto ed al capovolgimento di un'immagine; per es., in un cannocchiale kepleriano l'immagine finale è rovesciata e può essere raddrizzata con un sistema di prismi (binocoli "prismatici") o con una lente convergente che lavora con ingrandimento vicino ad 1:1.

Fig. 8 – Schema elementare di una lente convergente che opera con coniugate ( $a$  ed  $a'$ ) uguali. L'ingrandimento è pari ad 1, ma l'immagine è rovesciata.

Questo sistema ribalta un'immagine e la "trasporta" in direzione dell'asse, da qui il nome di "relè".

Qui non c'è nulla di telecentrico né di afocale.

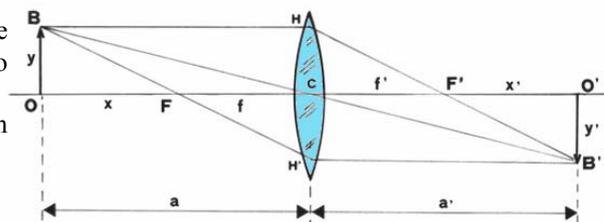
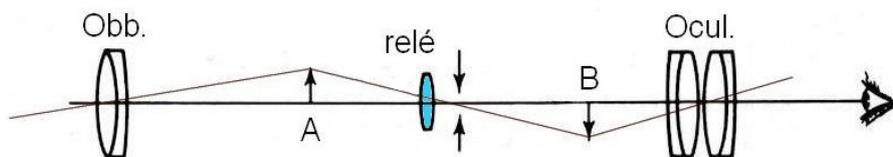


Fig. 9 – Questo è un cannocchiale kepleriano in cui l'immagine viene raddrizzata da una lente relè intermedia che lo rende "terrestre".



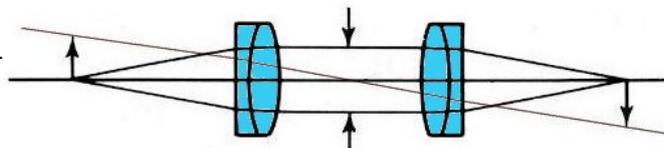
In A è l'immagine reale creata dall'obiettivo. In B è l'immagine reale trasportata dal relè ed osservata dall'oculare. Se abbiamo disegnato un raggio principale spezzato in corrispondenza delle due immagini reali è perché, in corrispondenza di esse, si pone in genere una lente convergente "di campo" che serve ad ampliare il campo angolare dello strumento.

Ebbene, spesso la lente relè è costituita da due membri identici<sup>4</sup> separati da un breve spazio in cui il cammino è telecentrico. La funzione essenziale è la stessa.

In qualche caso, la lente relè non fornisce un ingrandimento pari ad 1, anzi viene utilizzata per ingrandire l'immagine creata dall'obiettivo, come si fa in certi cannocchiali da marina.

Fig. 10 – Schema di lente-relè a struttura simmetrica, costituita da due doppietti identici.

Il cammino fra le due lenti è telecentrico.



Se abbiamo fatto una digressione sulle lenti relè è perché anche nei microscopi esse trovano qualche caso di applicazione: in certi strumenti complessi (polarizzatori, episcopici, il sistema "Contrast" della Jena, ecc.), la prima immagine intermedia viene "trasportata" verso l'oculare (possiamo dire che si forma una seconda immagine intermedia), mentre la prima rimane all'interno del tubo, dove c'è spazio per reticoli (che verranno visti sovrapposti all'immagine dell'oggetto), prismi di vario genere, filtri, ecc. Il fatto che l'immagine intermedia primaria si trovi in uno spazio facilmente accessibile, consente il rapido ricambio degli elementi appena accennati senza bisogno di sostituire l'oculare od altre parti intermedie.

<sup>3</sup> Questo termine è un'italianizzazione del francese *relais*.

<sup>4</sup> Lo schema simmetrico facilita la correzione di molte aberrazioni.

Un altro esempio di sistema chiamato normalmente “telecentrico” è quello degli “obiettivi telecentrici”. Il principio è quello di porre il diaframma non a ridosso della lente convergente – normalmente è lo stesso barilotto che funge da diaframma, caso B nella figura sotto – ma nel suo secondo piano focale (A). In questo modo, il raggio principale<sup>5</sup> fra piano oggetto e lente è sempre parallelo all’asse poiché deve attraversare il fuoco lato immagine. Questa situazione non cambia se l’oggetto viene sfocato (scala a tratteggio in figura) e quindi l’immagine non muta di dimensioni.

Se il diaframma si trova presso la lente (B in figura), il raggio principale attraversa l’oggetto a fuoco e quello sfocato in punti diversi, e l’ingrandimento cambia.

Fig. 11 – Un obiettivo normale (B) “vede” l’oggetto di dimensioni variabili se il fuoco è alterato. L’obiettivo telecentrico (A) è esente da questo errore e l’ingrandimento da esso prodotto è costante.

Quando è essenziale misurare le dimensioni di un’immagine, e quindi dell’oggetto corrispondente, si ricorre ad un obiettivo telecentrico per garantire che la misura non venga influenzata da un errore di messa a fuoco.

Questo schema presuppone che l’oggetto si trovi nel primo piano focale dell’obiettivo come avviene in un obiettivo “a seconda coniugata infinita”; perciò presuppone anche che, dopo l’obiettivo, vi sia una lente convergente con funzioni di “lente di tubo” (figg. 3 e 4).

Nello schema esposto, il sistema è telecentrico dal lato dell’immagine, ma spesso l’obiettivo telecentrico viene usato fuori dallo schema “a seconda coniugata infinita”, e prevede un oggetto più lontano del suo primo fuoco (figura sotto).

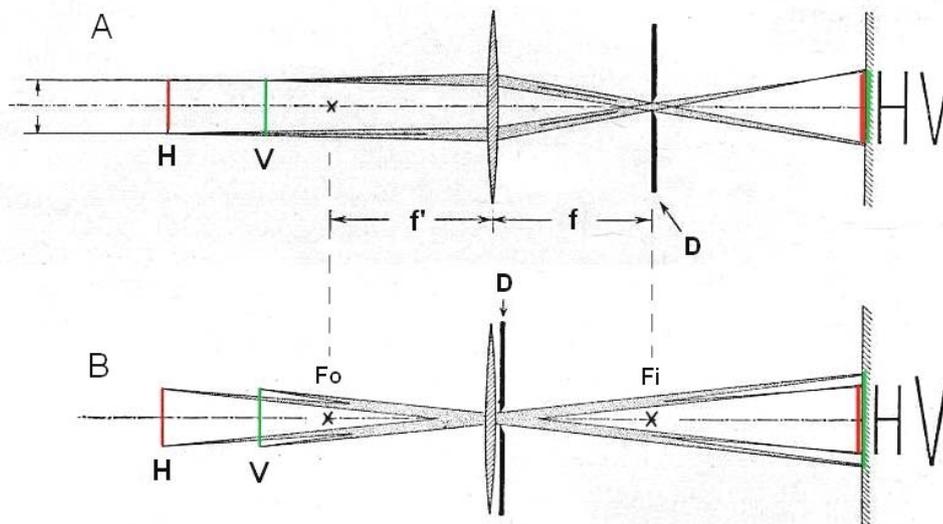
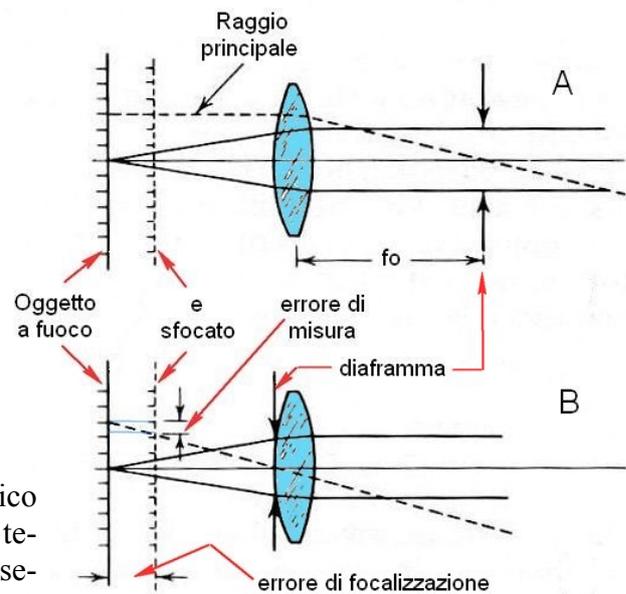


Fig. 12 – Schema di obiettivo telecentrico a coniugate finite. Quando il diaframma (D) è posto nel secondo fuoco dell’obiettivo (Fi), come nella fig. A, se l’oggetto occupa due diverse posizioni (H, linea rossa, e V, linea verde), l’immagine appare di dimensioni costanti (grandi lettere H e V all’estrema destra, figura A). Se invece il diaframma è presso la lente (caso B), l’immagine appare di dimensioni diverse (lettere H e V, figura B a destra).

Anche per questa categoria di obiettivi, esiste un’applicazione in microscopia. Nei grandi microscopi di misura e nei proiettori, che si usano nell’industria meccanica per valutare le dimensioni di piccoli pezzi, occorre evitare gli errori di misura legati ad un’errata messa a fuoco.

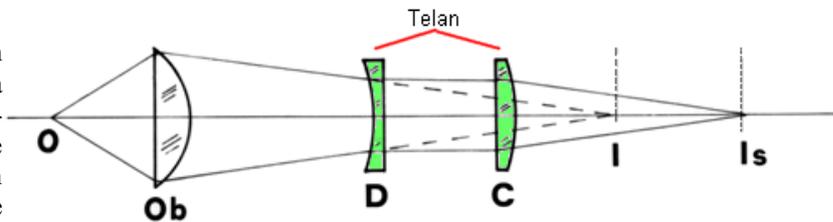
<sup>5</sup> Si dice raggio principale il raggio centrale di un fascio che attraversa il centro della pupilla o del diaframma.

Così è assai diffuso lo schema dell'obbiettivo "telecentrico", ma con una sfumatura: nei casi come quello della fig. 12, non esiste alcun cammino telecentrico in senso stretto.

Del resto, in molti trattati di ottica o nelle enciclopedie, il termine "telecentrico" viene proprio riferito esclusivamente agli "obbiettivi telecentrici" come li abbiamo appena descritti, senza accorgersi di quelli che non meritano quel titolo ed ignorando tutti gli altri casi di sistemi con cammino telecentrico vero.

Dopo aver chiarito i concetti di "afocale" e "telecentrico", possiamo finalmente entrare nei dettagli del sistema **Telan**.

Fig. 13 – Se Ob è, per es., un obbiettivo da microscopio a seconda coniugata finita, la sua immagine intermedia si formerebbe in I. La lente divergente D ha il suo fuoco proprio in I e quindi il fascio che ne emerge è telecentrico.



Tale fascio è poi reso convergente dalla lente convergente C nel suo fuoco ( $I_s$ ). L'immagine intermedia originale in I viene dunque trasferita in  $I_s$ , senza variarne le dimensioni.

Lo spazio interposto fra le due lenti D e C è telecentrico, ma con un dettaglio: la distanza fra le due lenti si può variare senza alterare le prestazioni del sistema, entro certi limiti. I limiti sono dati dal fatto che il fascio complessivo, corrispondente ad un oggetto esteso, si allarga aumentando la distanza D – C e nascono problemi di vignettatura, di limitazione dell'ampiezza del fascio da parte delle lenti seguenti.

Va notato che i due elementi del Telan hanno la stessa focale, sia pure di segno opposto.

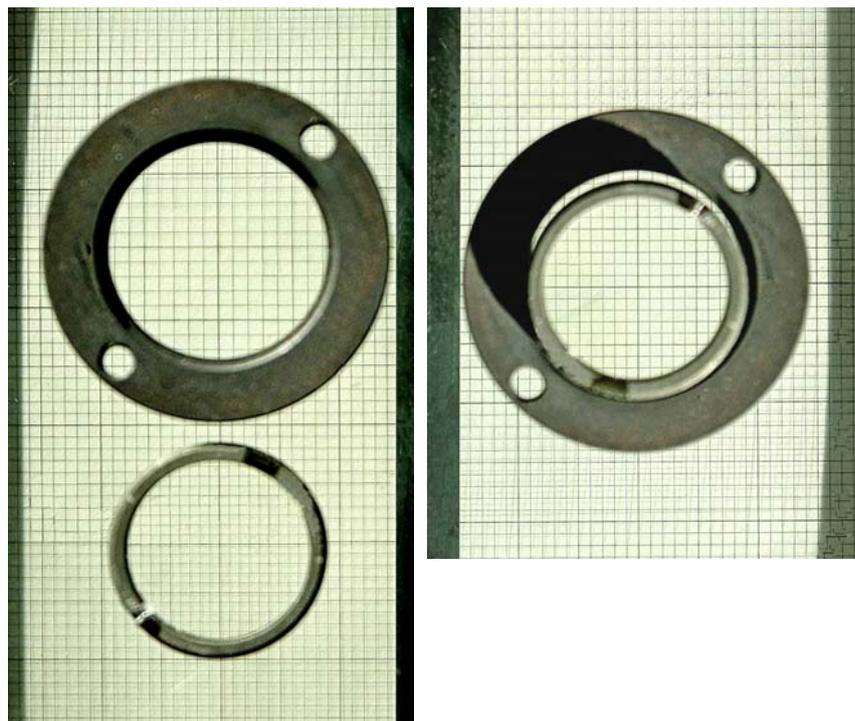
Dallo schema precedente si comprende come, all'interno del Telan, esista un percorso telecentrico, una specie di area fabbricabile in cui è possibile introdurre qualunque sistema ottico, purché afocale, senza disturbare l'immagine finale.

Il Telan viene spesso citato assieme ad indicazioni come "système télécentré" (Wild, opuscolo M1 105, IV, 1963), oppure "Telez-linsen" (Beyer e Riesenberg - Handbuch der Mikroskopie, 1988, p. 202), il che è corretto ma generico, oppure frainteso: in un certo dizionario di microscopia (J.P. Heath, 2005, p. 312) la voce "Telan" rinvia alla voce "Tube lens", cioè alla lente di tubo, facendo confusione fra due cose molto diverse: il Telan è un sistema a sé stante, sempre formato da due elementi – divergente e convergente – mentre la lente di tubo è solo un elemento singolo, complemento dell'obbiettivo.

Fig. 14 a/b – I due elementi di un Telan, presi separatamente, fanno il loro mestiere: se posti a breve distanza da un oggetto, ne mostrano un'immagine leggermente ingrandita (il convergente) od impiccolita (il divergente); se sovrapposti a contatto, le loro potenze si annullano e l'immagine è immutata.

NB: nella foto a destra, le due lenti sono poste a contatto fra loro, ma non possono compenetrarsi, e pertanto l'annullamento delle due potenze non può essere perfetto.

L'oggetto posto sotto le lenti è un reticolo millimetrato, cromo su vetro, prod. Heidenhein.



Torniamo ora a quanto citato sopra (pagg. 3–4): nel caso degli obiettivi a seconda coniugata infinita è stato chiarito come essi abbiano la principale funzione di creare sopra l'obiettivo un fascio telecentrico in cui introdurre elementi a facce piane, come i prismi di Nicol o semiriflettenti, senza alterare il fuoco; in quello spazio si possono ugualmente inserire sistemi afocali, come i variatori d'ingrandimento. Ma, se uno stativo è stato progettato con obiettivi a coniugata finita, e si prevede l'introduzione fra obiettivo ed oculare di un qualunque elemento che occupi un certo spazio, non è possibile allungare semplicemente il tubo alterando le coniugate dell'obiettivo; nasce anche lì la necessità di ricavare un fascio telecentrico, uno spazio franco, dove poter introdurre qualunque marchingegno senza che il fuoco se ne accorga. In tali casi la soluzione è racchiudere il sistema aggiuntivo all'interno di un sistema Telan.

Conviene descrivere qualche esempio.

Fig. 15 – Uno stativo classico; fra il tubo trioculare e la sommità del braccio, esiste il solito accoppiamento a coda di rondine circolare (freccia rossa).

Volendo dotare lo strumento di un accessorio da porre sopra l'obiettivo, il posto giusto è quello, ma occorre allontanare il tubo dal braccio, cioè dall'obiettivo. Lo si può fare impunemente solo se in quello spazio si crea un cammino telecentrico.

La scelta cade senza indugio su un Telan.

Nella foto sotto si vede un esempio di accessorio di questo tipo: un illuminatore episcopico, da introdurre proprio nell'accoppiamento indicato dalla freccia nella figura precedente. In questo elemento non si trova un prisma, ma una lamina sottile semiriflettente; quindi non si presenta il problema dell'avanzamento d'immagine (vedi a pag. 4, nota 2). Rimane però la necessità di ricavare lo spazio per introdurre l'illuminatore, e poiché si tratta di qualche centimetro, la soluzione è obbligata: porre la lente divergente di un Telan all'ingresso del tubo (sotto) e la convergente sopra.

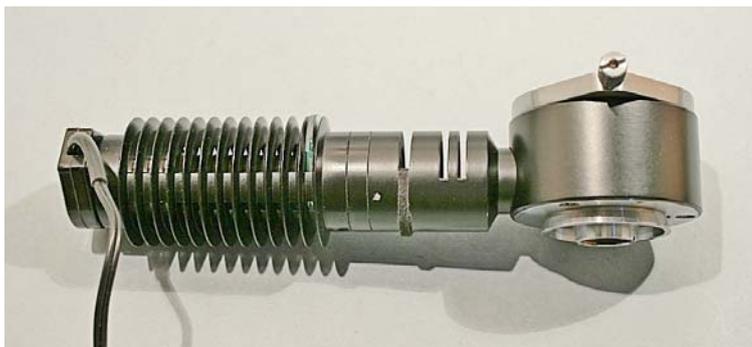
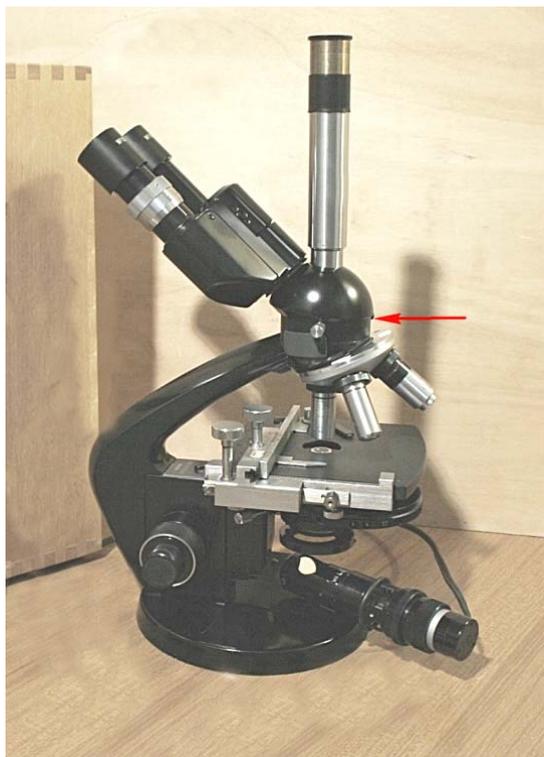


Fig. 16/17 – Questo è l'epi-illuminatore con una coda di rondine sotto e sopra, da fissare all'estremità del tubo.

A sinistra, le due lenti del Telan smontate.

Un altro esempio classico è quello dei tubi intermedi che molti stativi biologici introducono nella stessa sede appena esaminata per accogliere sistemi di variatori d'ingrandimento – spesso del tipo galileiano, già discusso – o altri elementi (lenti di Amici, filtri, ecc.).

Di questi tubi intermedi si è già parlato nell'articolo precedente (n° 44) a proposito proprio della lente di Amici-Bertrand.

Fig. 18 – Il classico sistema Optovar della casa Zeiss W., contenente fra le lenti del Telan quattro sistemi di vario ingrandimento, fra  $1\times$  e  $2\times$ , una lente di Amici ed eventualmente un filtro polarizzatore.

Dall'esterno si vedono le lenti d'ingresso e d'emergenza del Telan.



Fig. 19 (a destra) – L'Optovar inserito fra tubo e braccio di uno dei tanti stativi della Zeiss W.: il modello GF1.

Gli attacchi superiore ed inferiore seguono lo standard per questo tipo di stativo: una coda di rondine identica a quella inferiore del tubo.

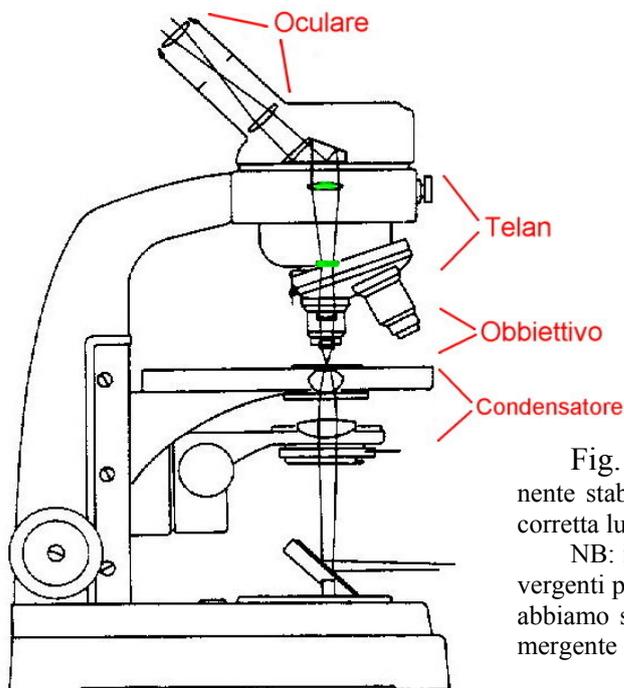


Fig. 20 (a sinistra) – In questo caso, il Telan è un componente stabile dello stativo con l'unica funzione d'impostare la corretta lunghezza del tubo.

NB: i confini del fascio interno al Telan sono disegnati divergenti per tener conto dell'ampiezza del campo visuale; finora abbiamo sempre disegnato schemi che mostravano il fascio emergente da un singolo punto oggetto.

In altri casi, un tubo semi-fisso viene posto fra tubo e braccio per ricavare lo spazio per filtri analizzatori, compensatori, ecc. Anche qui è utilizzato un Telan.

Fig. 21 a/b – Un microscopio polarizzatore inserisce fra tubi standard e braccio un tubo intermedio con sedi per filtri, cerchi graduati, ecc. (Wild, M21, 1960).

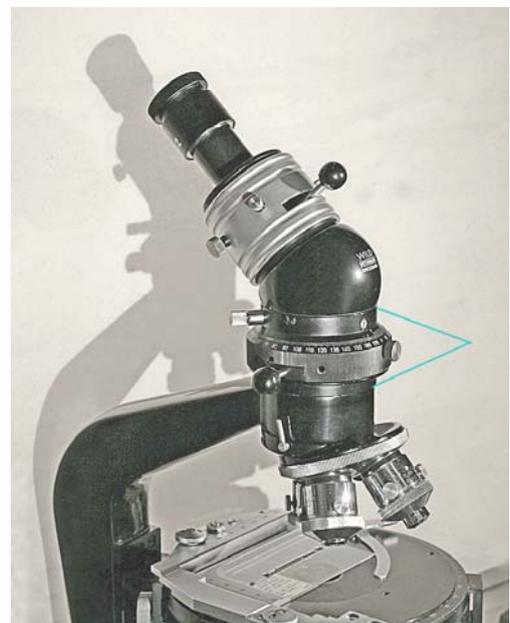




Fig. 22 – Anche qui, un tubo intermedio col solito sandwich del Telan, intramezzato da analizzatore, lente di Amici, ecc. Già citato nell’articolo precedente.

In altri casi, il tubo intermedio non contiene Telan; l’aumento della lunghezza del tubo che ne consegue, viene compensato con una debole lente divergente all’ingresso del tubo in modo che il fascio convergente che produce l’immagine intermedia venga reso meno convergente e vada a fuoco un poco più su, sempre nel fuoco dell’oculare.

Questa strategia è semplice, ma soffre di un grave inconveniente: aumenta l’ingrandimento totale, col pericolo, sempre sottovalutato, di superare i limiti dell’“ingrandimento utile”.

È quello che succede presso molti costruttori, anche di notevole livello. Da varie considerazioni, si può dedurre che l’ingrandimento più indicato per un oculare da microscopio, salvo casi particolari, è  $10\times$ . Qualunque “fattore di tubo” superiore ad  $1\times$  è generalmente eccessivo poiché equivale ad aumentare l’ingrandimento dell’oculare.

Un paio di esempi.

Fig. 23 a/b – Illuminatore episcopico per fondo chiaro e fondo scuro (Wild M20), da introdurre, al solito, fra braccio e tubo.

Qui non c’è un Telan ed il “fattore di tubo” è pari a  $1,4\times$ .

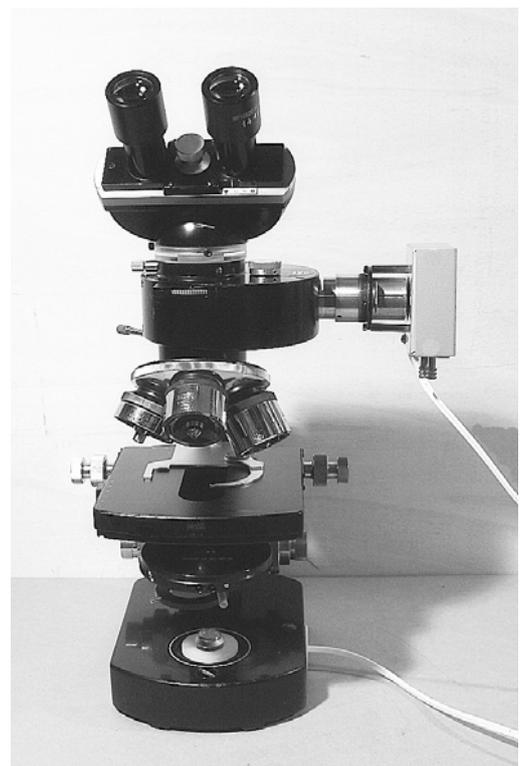


Fig. 24 – Qui vediamo un tubo intermedio a gomito che serve a ricavare, da un tubo bioculare, un terzo canale per la fotografia.

Anche qui, niente Telan, e fattore di tubo  $1,25 \times$ .  
Prodotto Wild, M20.

Ancora dalla produzione Wild, vogliamo invece mostrare un paio di utilizzazioni del Telan per motivi un po' stravaganti.

Nello stativo qui sotto (M11) il progettista ha cercato di ridurre le dimensioni trasversali accorciando il tubo inclinato ed allungando la porzione verticale del tubo, il tutto allo scopo di contenere lo strumento in una campana metallica di modesto diametro che faciliti il trasporto, una specie di "microscopio da viaggio".

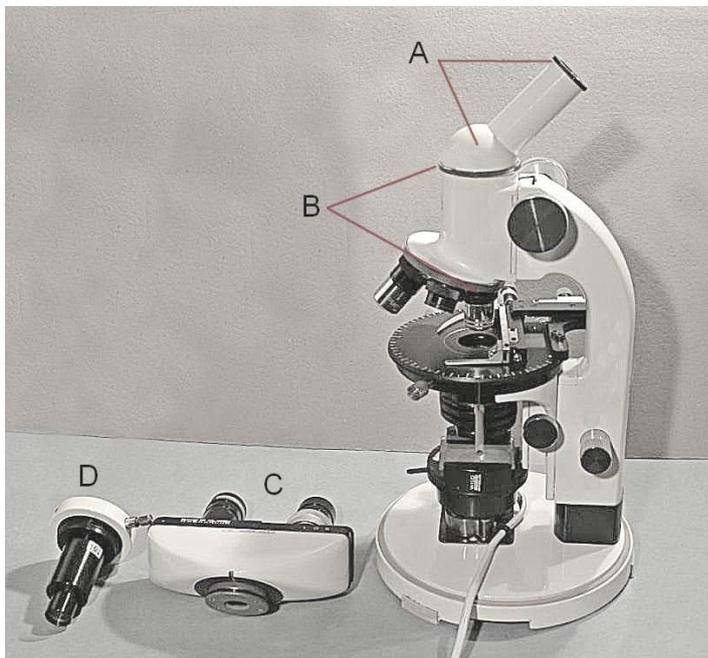


Fig. 25 (a sinistra) – La porzione verticale del tubo (B) è più lunga di quella inclinata monoculare (A). La lunghezza totale è corretta ( $L_m = 160 \text{ mm}$ ).

Se però si vuol montare sullo stativo il tubo bioculare (C), il cammino si allunga rispetto al tubo monoculare (A) ed allora è necessario alzare l'immagine intermedia interponendo fra obiettivo e tubo un sistema Telan. È appunto quello contenuto in un raccordo tubolare (D) che va inserito sotto al tubo bioculare.

Tale raccordo possiede quindi un fattore di tubo " $f_t = 1 \times$ ".

Per finire, proprio nel tubo bioculare visto qui sopra (C), si trova un altro sistema Telan con una funzione particolare.

Sappiamo che, nei tubi a guide trasversali, ogni variazione della distanza pupillare comporta una variazione della lunghezza del tubo e quindi dell'ingrandimento – magari con perdita della correzione di qualche aberrazione. Ma in questo caso la casa Wild aveva escogitato un espediente ingegnoso (brevettato e quindi mai più imitato). Il canale destro è fisso e la distanza pupillare si può variare solo spostando l'unica guida a sinistra. Per evitare che questo spostamento alteri la lunghezza equivalente del tubo nel canale sinistro, fra il prisma divisore centrale del tubo e l'oculare sinistro è stato inserito un Telan che può variare di lunghezza senza alterare l'immagine, per via del cammino telecentrico al suo interno.

L'ingrandimento rimane così identico e costante nei due canali.

Fig. 26 (a destra) – Il sistema ottico del tubo citato sopra, estratto dal contenitore e privo del porta-oculare destro (che compare a sinistra in figura: il pezzo è visto dall'alto). La lente divergente del Telan (C) è incollata al prisma divisore centrale (B) e la convergente (D) al prima mobile sinistro (A). È per questo che tale prisma si può spostare senza influire sulla posizione e sulle dimensioni dell'immagine intermedia che si forma nell'oculare sinistro.

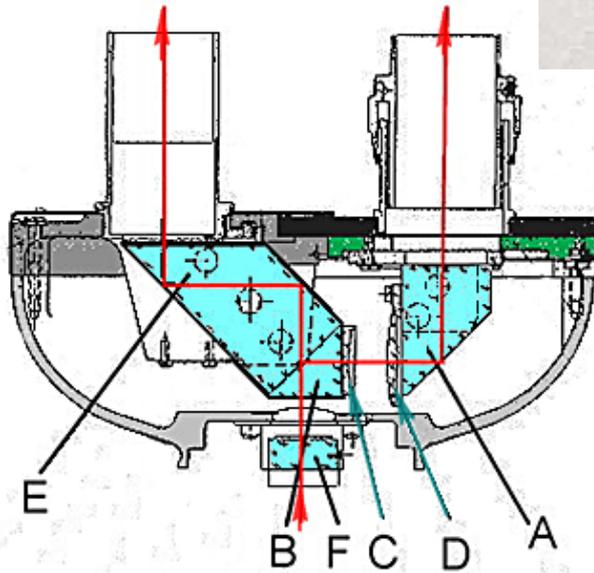
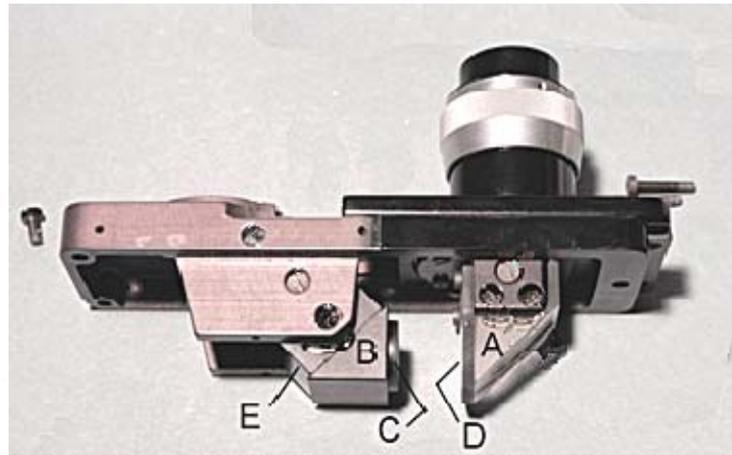


Fig. 27 (a sinistra) – Lo schema ottico del tubo è anch'esso insolito. Il prisma laterale destro (E) non è separato da quello centrale (B), come si fa in genere; poiché il prisma destro è in posizione fissa, esso è ricavato da un estremo del prisma centrale e con esso fa corpo unico.

Quando si varia la distanza inter-pupillare, solo il prisma sinistro (A, a destra in figura) si sposta e con esso la lente convergente del Telan (D).

Concludendo, il sistema Telan, pur essendo concettualmente semplice, può svolgere in un microscopio alcune funzioni essenziali ed è ampiamente utilizzato. Il micrografo deve essere consapevole di questa struttura e delle sue proprietà. Così sono utili anche i concetti di afocalità e telecentricità.

## BIBLIOGRAFIA

- BATTELLI A. e CARDANI P. – Trattato di fisica sperimentale, vol. II – p = 1023; f = 836 – Vallardi, Milano.
- BEYER H. e RIESENBERG H. - Handbuch der Mikroskopie - p = 488; f = 410; tabelle = 30 - VEB Verlag Technik, Berlin, 1988. *Uno dei migliori testi esistenti sugli aspetti tecnici della microscopia, sia dal punto di vista della completezza che della correttezza. Gli autori sono i maggiori specialisti della Zeiss di Jena. Ricchissima bibliografia.*
- DRISCOLL W. e VAUGHAM W. - Handbook of optics - p = circa 1000 - O.S.A., McGraw Hill Book Co. N.Y., 1978. *Raccolta di monografie, molto approfondita.*
- HEATH J. P. – Dictionary of microscopy - p = 352, ben illustrato - J. Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK, 2005. *Indispensabile per leggere o scrivere in inglese sulla microscopia.*
- KINGSLAKE R. et al. – Applied optics and optical engineering; Volumi 1 - 4 - p = 409, 309, 361, 382; illustr. - Academic Press, N.Y. and London, 1965.
- KINGSLAKE R. – Lens design fundamentals - p = 356; f = 204 - Academic Press Inc., N.Y., 1978.
- POHL R. W. – Einführung in die Optik – 2° e 3° ediz. – p = 324; f = 564 + una tav. a colori – Springer Verlag, Berlin, 1941 – *Un modello di chiarezza e rigore.*
- SMITH W.J. – Modern optical engineering - p = 468; illustr. - McGraw-Hill, N.Y. 1966. *Un solo volume, riassuntivo, ma chiaro e rigoroso.*