

O3 - LE LENTI SFERICHE

Finora abbiamo parlato di “mezzi” trasparenti (acqua, vetro, ecc.) limitati da superfici lucide e piane: prismi e simili. Ora dobbiamo parlare di oggetti trasparenti limitati da almeno una superficie ricurva: questi sono le “lenti” ottiche. Ci limiteremo alle superfici “sferiche”, cioè facenti parte della superficie di una sfera.

Così una lente sferica è un blocco di vetro ottico (vedi la nota 1 in O2) limitato da due superfici “sferiche” (porzioni di una superficie sferica) oppure da una superficie sferica ed una piana. Si conosce una lente sferica quando si conoscono i raggi di curvatura delle sue facce¹², il suo spessore, ed il tipo di vetro ottico da cui è composta.

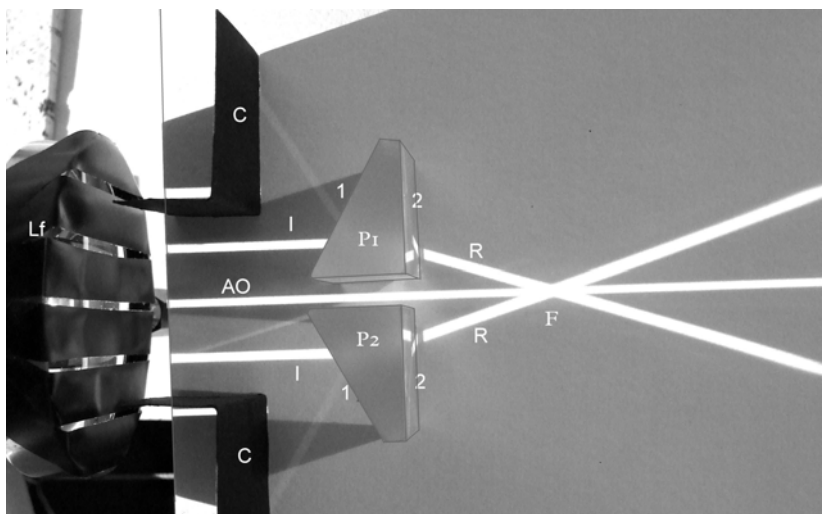
Si definiscono “convergenti” le lenti sferiche il cui spessore è maggiore al centro che non sui bordi; sono “divergenti” nel caso contrario. Questa definizione soffre di qualche eccezione (i “menischi spessi”, ne riparleremo), ma per ora prendiamola per buona. Nel linguaggio dell’occhialeria ed in altri campi i termini convergente e divergente vengono sostituiti con “positivo” e “negativo”, ma anche questo può creare equivoci, specialmente nel caso degli oculari. Per qualche dettaglio in più e per una descrizione sommaria dei vari tipi di lenti, vedi il manuale “Problemi tecnici della microscopia...”, Cap. 2.5, fig. 8, ecc. o la bibliografia citata a suo tempo.

Ecco come funziona una lente sferica. Ripartiamo dalla disposizione di fig. 9 (in O1); torneremo presto su questo schema, ma intanto vediamo che dalla “lente a fessure” (Lf, fig. 39) si possono eliminare i due fasci più esterni per mezzo delle solite squadrette in cartoncino nero (C); questa eliminazione è necessaria poiché i prismi che seguono (P1 e P2) sono troppo grandi per interessare un solo fascio. Bene, secondo lo schema della rifrazione e della deviazione (vedi, per es., la fig. 19 in O2), uno dei fasci paralleli emergenti dalla lente Lf, quello superiore indicato con I in fig. 39, attraversa il prisma P1 e viene deviato verso il basso. Il fascio che attraversa il centro della lente Lf (l’abbiamo indicato con AO, supponendo di poterlo identificare con l’asse ottico della lente) prosegue indisturbato, poiché non attraversa alcun altro oggetto; anche se fra i due prismi P1 e P2 di fig. 39 esistesse una lamina a facce piane e parallele, con le facce normali al fascio AO, il fascio AO stesso non sarebbe deviato per quanto detto a suo tempo. Il fascio inferiore I viene deviato verso l’alto dal prisma P2, in modo analogo al fascio superiore.

A questo punto, vediamo che tre fasci paralleli divengono convergenti, cioè si incontrano in un unico punto (F) a valle del sistema dei prismi. Se volessimo far convergere nello stesso punto altri fasci, per es. quelli più esterni bloccati dai cartoncini C, occorrerebbe un’altra coppia di prismi, con un angolo maggiore fra le facce 1 e 2 (maggiore, poiché la deviazione dovrebbe essere più forte).

Fig. 39

Visto dall’alto, il piano di cartone orizzontale rende evidenti i 5 fasci paralleli prodotti dalla lente a fessure (Lf, vista di scorcio); i due fasci estremi sono bloccati da due squadrette di cartoncino nero (C); i due fasci I sono deviati verso l’asse (AO) dai due prismi P1 e P2. Si può assimilare il loro punto d’incontro (F) con il “fuoco immagine” del sistema di prismi.

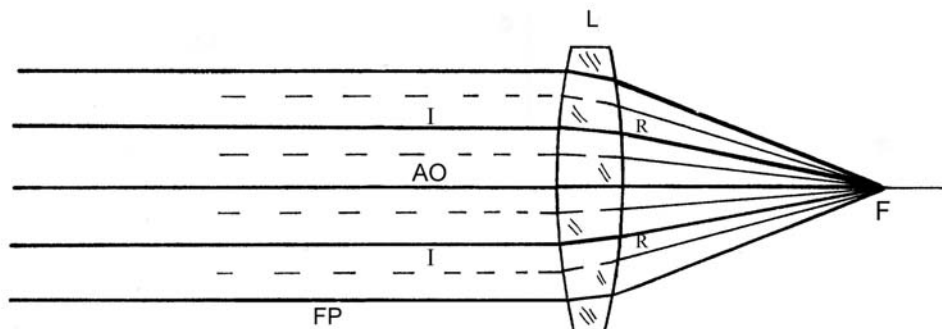


Riassumendo, se io disponessi di una serie di prismi, quello al centro a facce parallele e poi, via via che mi allontanano dal centro, con un angolo crescente fra le facce, potrei far convergere in un unico punto tutti i raggi paralleli che pervenissero sul sistema dei prismi. Ma non è necessario

¹² Una superficie piana si può considerare una superficie sferica con un raggio di curvatura infinito.

disporre di una serie infinita di prismi a deviazione crescente: basta disporre di un unico blocco di vetro limitato da facce curve (fig. 40). Al centro, “sull’asse” (AO), la lente biconvessa di fig. 40 presenta, in una porzione infinitesima delle sue superfici, due facce parallele, e pertanto il raggio che l’attraversa non viene deviato¹³; via via che ci si sposta verso i bordi, le due facce della lente, sempre in un intorno infinitesimo, si comportano come le facce di un prisma ad angolo crescente e quindi anche la deviazione sarà crescente. Semplificando parecchio, si può dire che qualunque raggio incida sulla lente (supponiamo per ora in direzione parallela all’asse), convergerà verso un unico punto (F). Se i raggi incidenti sono veramente paralleli fra loro e paralleli all’asse, tale punto si chiamerà “**fuoco**” o “**punto focale immagine**”. Il perché dell’aggettivo “immagine”, sarà chiaro fra poco. Anche il fuoco F, per evidenti ragioni di simmetria, giace sull’asse.

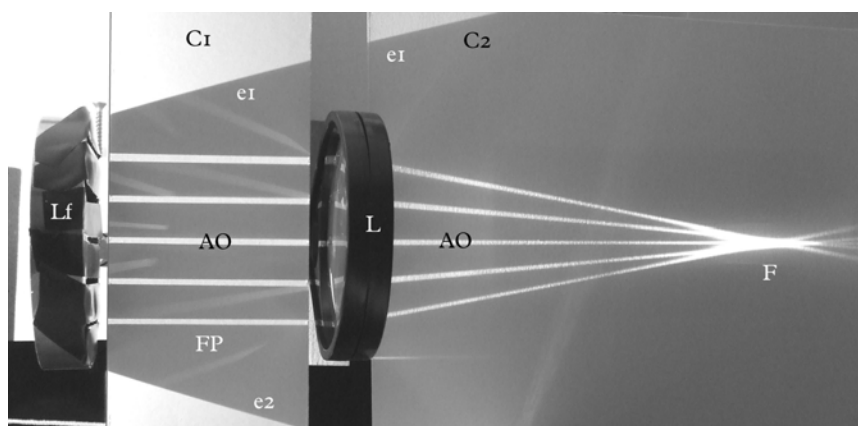
Fig. 40



Per verificare lo schema di fig. 40, si realizzi il dispositivo di fig. 41: si parta dai cinque fasci paralleli (fig. 9 in O1); a destra della lente a fessure (Lf) si ponga una striscia di cartone bianco (C1 in fig. 41) di qualche cm di larghezza; ciò ci consente di visualizzare i cinque fasci paralleli (FP) prodotti dalla lente Lf. Sarà bene poggiare la striscia C1 qualche mm più in basso del centro della lente. A destra di C1 si ponga una seconda lente d’ingrandimento (L) simile alla Lf, ma senza strisce di scotch, con il centro alla stessa altezza della lente Lf. Ancora a destra della lente L si ponga, sempre orizzontalmente, un secondo pezzo di cartone bianco (C2), più o meno all’altezza del centro della lente L. Su C2 si vedranno le tracce dei cinque fasci FP che la lente L ha reso convergenti. Regolando bene l’altezza della lampadina (a sinistra, fuori della fig. 41), delle lenti e dei due cartoni, si potrà vedere anche il punto di convergenza di tutti i fasci, cioè il fuoco (F) della lente L. Supponiamo per ora che si tratti veramente di un punto. La distanza fra questo fuoco e la lente si chiama “**lunghezza focale**” o “**distanza focale**”; per gli amici: “la focale”¹⁴.

Fig. 41

Anche questa volta, la foto è stata presa da sopra: le due lenti (Lf ed L), sono viste di scorcio, i due cartoni bianchi C1 e C2 sono orizzontali. Le linee e1 ed e2 sono i contorni dell’ombra che la lente Lf proietta sui cartoni C1 e C2.



A questo punto, dobbiamo rovesciare la situazione. Pensiamo che “le rette parallele si incontrano all’infinito”, come c’insegna la geometria. Dunque, i fasci paralleli FP di fig. 40 e 41 si

¹³ In prima approssimazione, si può affermare che “un raggio che traversa il centro di una lente sferica non viene deviato”.

¹⁴ La focale di una lente diminuisce col crescere della curvatura delle sue facce e dell’indice del vetro che la compone; cresce con l’aumentare del suo spessore. Per misurarla, oltre alla disposizione di fig. 41, si può semplicemente rivolgere la lente verso una sorgente lontana (un lampione, la luna, il sole) e porre dal lato opposto alla lente un foglio di carta, muovendolo fino a vedere un’immagine più piccola possibile della sorgente. Si renda tale immagine più nitida che si può orientando la lente, per tentativi. Se si usa il sole come sorgente, indossare un paio di occhiali da sole molto scuri. La distanza fra la lente e l’immagine corrisponde all’incirca alla focale (la misura sarebbe precisa solo in caso di lenti di spessore infinitesimo).

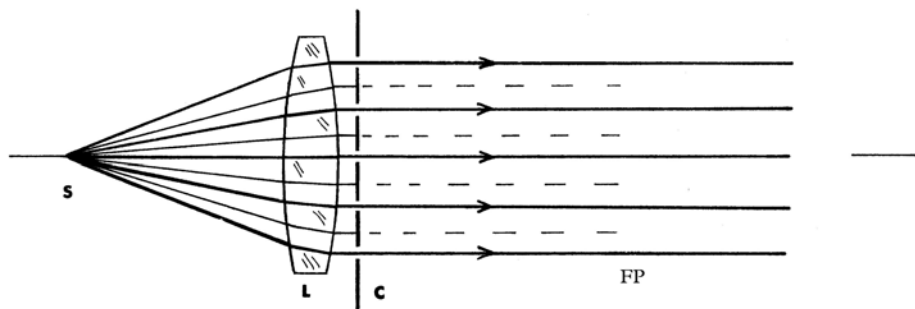
possono pensare come provenienti da una sorgente “puntiforme” a distanza infinita.

Ne deduciamo che “una lente sferica convergente fa confluire in un unico punto detto “fuoco” tutti i raggi che incidono su di essa viaggiando parallelamente al suo asse”.

Ma se, davanti alla stessa lente, ponessimo una sorgente molto piccola (supponiamo “puntiforme”), alla stessa distanza, la focale?

Basta rovesciare la fig. 40, ed abbiamo la fig. 42. Il punto **S** è la sorgente puntiforme citata, che dista dalla lente **L** di una distanza pari alla focale di questa. Lo schermo **C** di fig. 42 schematizza le 6 striscie di scotch che abbiamo incollato sulla lente a fessure. Le linee tratteggiate indicano le porzioni del fascio interrotte dalle striscie di scotch.

Fig. 42

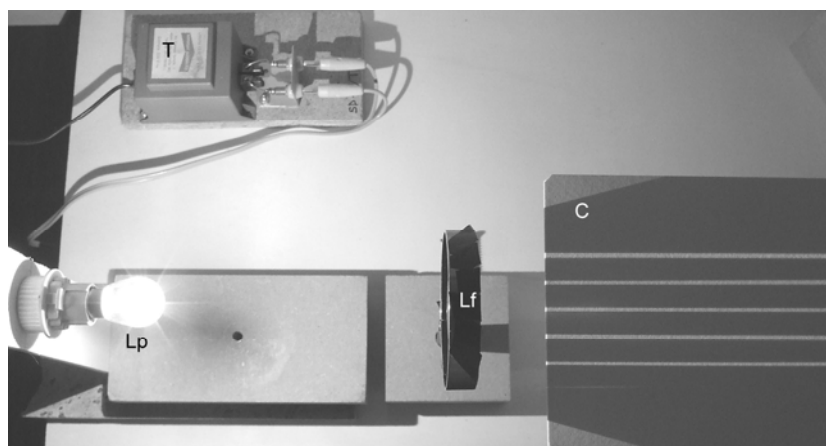


Quando abbiamo impostato il sistema di fig. 9 (O1), abbiamo fatto proprio questo (fig. 43): abbiamo messo una piccola sorgente, il filamento della lampadina L_p , davanti ad una lente convergente, modificata come in fig 10 (lente a fessure L_f), ad una distanza pari alla focale della lente stessa. Tutti i raggi od i fasci che emergono dalla lente saranno all'incirca paralleli. Non si potevano visualizzare in fig. 9 e 43 tutti i raggi divergenti che emergono dalla lampadina, come nello schema di fig. 42, ma la situazione dovrebbe essere ugualmente chiara.

Il punto in cui è posta la “sorgente” di fig. 43 (il filamento della lampadina L_p) si chiama “fuoco oggetto¹⁵” della lente (L_f). Vediamo così che la lente ha due fuochi: uno “lato oggetto” ed i raggi che emergono da esso ed incidono sulla lente divengono paralleli al di là della lente stessa. L'altro, il “fuoco immagine” (F in fig. 41), che rappresenta il punto di convergenza dei raggi paralleli (paralleli fra loro e paralleli all'asse) che eventualmente incidano sulla lente provenendo dallo “spazio oggetto”¹⁶. I due fuochi stanno sull'asse della lente.

Fig. 43

La lampadina L_p è alimentata da un trasformatore (T) da 12 V, 30 W. Il cartone bianco “C” è orizzontale e tenuto all'altezza dell'asse della lente, magari un po' sollevato verso destra. La figura scura a lati divergenti che si forma sul cartone è l'ombra della lente L_f . I rettangoli sotto la lampadina e la lente sono blocchetti di legno di supporto.



Da quanto detto e verificato con i montaggi di fig. 41 e 43, risulta allora che una lente è reversibile, nel senso che, invertendo la posizione della sorgente rispetto alla lente, si ottiene uno schema simile, semplicemente speculare rispetto al precedente.

Altri dettagli nel manuale “Problemi tecnici della microscopia...”, Cap. 2, in particolare 2.6.

LE IMMAGINI REALI

Abbiamo detto che i raggi (o i fasci) paralleli che in fig. 40 e 41 incidono sulla lente convergente si possono pensare come provenienti da una sorgente puntiforme a distanza infinita. Il pun-

¹⁵ Negli schemi ottici, l'“oggetto” o la “sorgente” si pone a sinistra della lente. L'immagine alla destra. Ecco perché il punto F di fig. 41 è stato chiamato “fuoco immagine”.

¹⁶ vale a dire da una sorgente puntiforme posta sull'asse a distanza infinita.

to di convergenza F si può allora pensare come il corrispettivo di quella sorgente, posto nello spazio immagine, e quindi come l'immagine della sorgente medesima.

Invertendo la situazione, nelle fig. 42 e 43 si può dire che i raggi paralleli che emergono dalla lente si incontrano all'infinito e quindi la sorgente "puntiforme" (filamento della lampadina), posta nel fuoco-oggetto, ha una sua immagine (puntiforme, in teoria) a distanza infinita.

E se io pongo la sorgente (l'oggetto) davanti alla lente, ma ad una distanza superiore alla focale? Per uno schema di principio, si faccia riferimento alla fig. 13 del manuale "Problemi tecnici della microscopia...". Per la verifica pratica, si veda la figura seguente (fig. 45): come sorgente, si usi una normale lampadina "da frigo" (220 V, 10 o 15 W); perché non è adatta la lampadina usata fino adesso (12 V, 21 W) è presto detto: per realizzare i cinque fasci paralleli attraverso la lente a fessure era preferibile un filamento allungato ma sottile (vedi la fig. 7 in O1), mentre ora, per visualizzare meglio l'immagine, è preferibile un filamento esteso, con una struttura facilmente riconoscibile. Questa è la lampadina S di fig. 44 e 45.

Fig. 44

In una normale lampadina alimentata a 220 V, il filamento è lungo ed esteso; a volte ha forma ricurva, a semicerchio, ma per il nostro uso è preferibile la forma a zig-zag, come in figura. Un porta-lampada adatto, con attacco "mignon", si trova presso qualunque elettricista. In queste figure, il porta-lampada è stato fissato lateralmente ad un blocco di legno capace di portare il filamento alla stessa altezza del centro della lente.

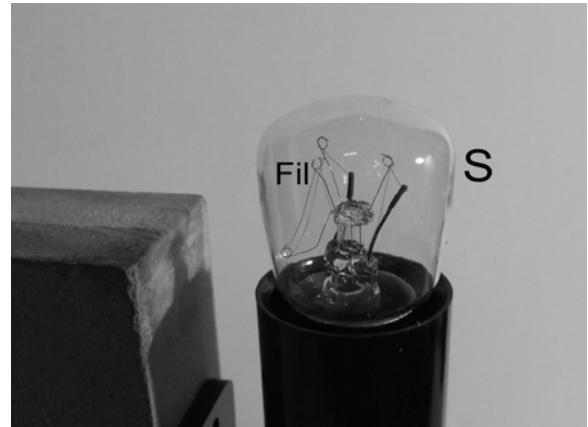
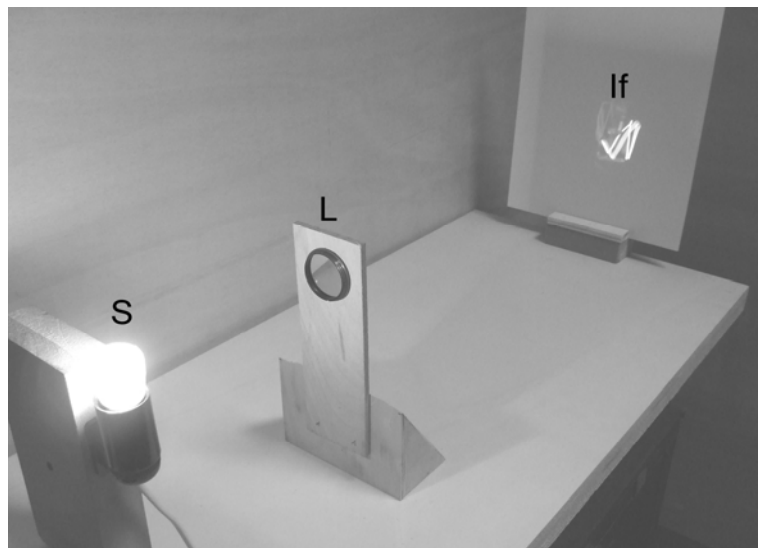


Fig. 45

La lampadina S è posta davanti alla lente L , ad una distanza superiore alla focale della lente stessa. L'immagine del filamento, ingrandita (If), si forma su uno schermo di cartone verticale, fissato al solito blocchetto di legno. Vedi testo.



Per questa prova, si noterà dalla fig. 45, non è stata usata la normale lente d'ingrandimento (come la L in fig. 41), ma una lente più piccola, con una montatura metallica ("barilotto"): si tratta di un obiettivo da binocolo, quello di cui si è parlato nell'articolo O1 quando si è consigliato l'acquisto e lo smantellamento di un binocolo prismatico (fig. 5). La scelta di questa lente sarà più chiara quando avremo parlato di aberrazioni: si tratta di una lente "corretta", capace di dare un'immagine più nitida. Anche questa lente è stata incastonata in un pezzo di compensato, munito di un foro del diametro adatto.

Ebbene, si vede che, in queste condizioni, l'immagine dell'oggetto (il filamento incandescente della lampadina) è ingrandita rispetto all'oggetto. Per il concetto e la misura dell'ingrandimento si veda il manuale "Problemi tecnici della microscopia...", Cap. 2.6, oppure un testo di fisica. Procediamo.

Si veda ora, nel manuale citato, la fig. 12: a quanto pare, l'immagine può avere le stesse dimensioni dell'oggetto; si dice che "l'ingrandimento è uguale ad 1". Per realizzare questo, si allontani lentamente la lampadina dalla lente L di fig. 45 (e contemporaneamente si avvicini lo schermo di cartone per avere sempre un'immagine a fuoco). Si troverà prima o poi la condizione

in cui l'immagine I_f ha le stesse dimensioni del filamento Fil di fig. 44. Si misuri anche la distanza totale fra filamento e schermo: è la minima possibile, pari a quattro volte la focale della lente. In tutti gli altri casi, si potrà constatare che essa è maggiore. La distanza oggetto-lente è uguale a quella lente-immagine, ed entrambe sono pari al doppio della focale.

Proviamo adesso ad allontanare ancora l'oggetto (la lampadina) dalla lente¹⁷: spostando lo schermo si riottiene sempre un'immagine a fuoco del filamento, ma stavolta l'immagine è più piccola dell'oggetto (fig. 46). La distanza oggetto-lente cresce; quella lente-immagine diminuisce, ma la distanza totale oggetto-immagine cresce, come preannunciato. L'ingrandimento è ora minore di 1; in realtà, si dovrebbe parlare di riduzione, ma il linguaggio tecnico parla solo di ingrandimento "maggiore o minore di 1" (vedi il manuale "Problemi tecnici della microscopia...", Cap. 2.6, fig. 11).

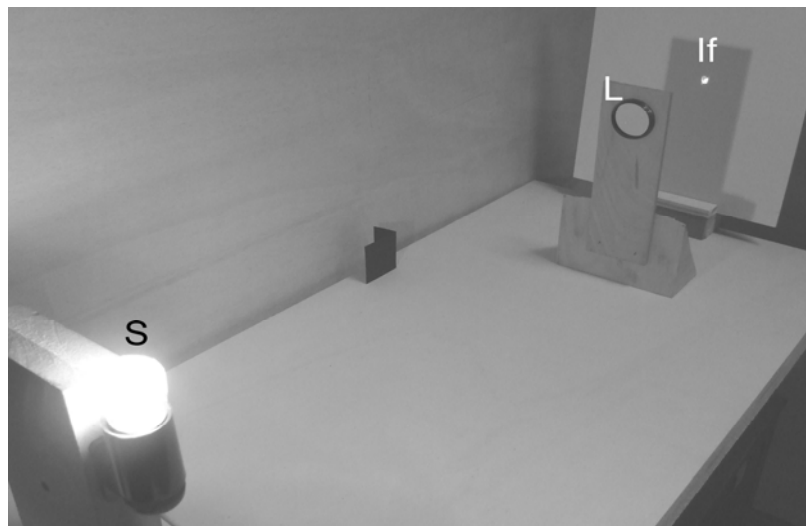
Si osservi allora che gli stessi elementi, sorgente, lente e schermo, possono produrre ingrandimento o riduzione, basta cambiare le distanze fra le varie parti.

Se allontanassimo ancora la lampadina dalla lente, ad una distanza "infinita", ci ritroveremo nella situazione di fig. 40 e 41, con un'immagine "infinitamente" rimpicciolita, in teoria puntiforme, distante dalla lente di una lunghezza pari alla focale. Qui l'ingrandimento sarebbe zero.

E nella condizione di fig. 42 e 43 qual'è l'ingrandimento? La sorgente si trova nel fuoco-oggetto della lente. L'immagine è a distanza infinita ("rette parallele si incontrano all'infinito") e si può pensare di dimensioni infinite; forse è più corretto dire che l'immagine è "infinitamente più grande" dell'oggetto. L'ingrandimento è comunque infinito.

Fig. 46

Situazione invertita rispetto alla fig. 45: la distanza sorgente-lente è maggiore di quella lente-schermo e l'immagine (I_f) è impiccolita. In questa immagine, guardando da vicino, si vede la forma a zig-zag del filamento della lampadina S .

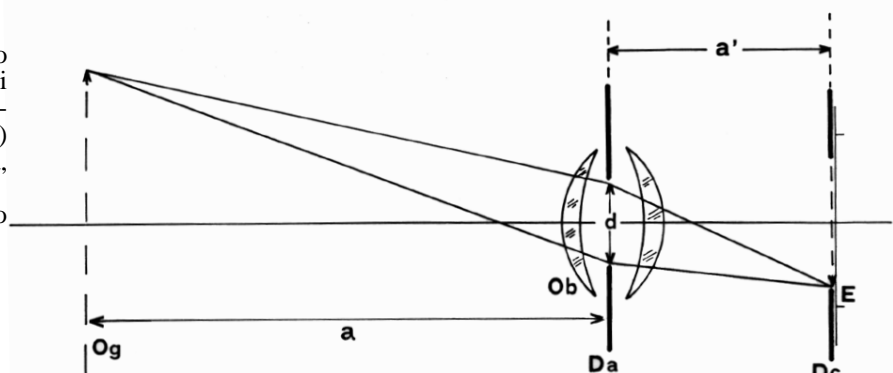


Ma ora osserviamo: tutte le immagini realizzate finora sono costituite dalla convergenza di raggi, raggi che emergono divergendo dall'oggetto (o sorgente) e sono resi convergenti dalla lente (convergente, s'intende). Una tale immagine si può quindi chiamare **reale** e la si può proiettare su uno schermo, come abbiamo fatto finora. Vedremo più avanti che le cose non vanno sempre così.

Fig. 47

Schema di funzionamento di una macchina fotografica. Gli elementi essenziali sono l'obiettivo (Ob) il diaframma (Da) ed il piano pellicola (finestrella, E).

Le distanze a ed a' sono le "coniugate" della lente.



Un'occhiata alla fig. 47 illustra meglio un caso reale: quello di un obiettivo fotografico.

¹⁷ ad una distanza superiore al doppio della focale.

Siamo nelle condizioni di fig. 46: l'oggetto (un panorama, una persona od un gruppo) si trova davanti all'obiettivo (Ob) ad una distanza (a) superiore al doppio della focale; l'immagine si forma nel piano E ad una distanza (a')¹⁸ compresa fra la focale ed il doppio di questa, ed è impiccolita rispetto all'oggetto. Nel piano E si pone la pellicola fotografica o il sensore elettronico. La distanza obiettivo-pellicola (a') può essere variata con un meccanismo di vario tipo, in modo che, qualunque sia la distanza a , l'immagine si formi sempre nel piano E ("a fuoco"). All'interno dell'obiettivo Ob si trova un diaframma (Da) a diametro (d) variabile, "ad iride", che consente di modificarne l'apertura (vedi il manuale "Problemi tecnici della microscopia...", Cap. 5.2). Davanti alla pellicola si trova una lamina forata (Dc , generalmente rettangolare, detta "finestrella") che limita la porzione utilizzata del piano immagine.

Da questo solo schema, senza tanti calcoli, dovrebbe risultare chiaro perché l'immagine reale prodotta da un sistema convergente è rovesciata rispetto l'oggetto.

Fig. 48

Macchina fotografica "analogica" (a pellicola), vista da dietro. Il "dorso" è stato aperto per mettere in evidenza la finestrella, sulla quale normalmente si appoggia la pellicola.

L'oggetto Ogg è qui costituito da un ritaglio di cartoncino bianco di forma volutamente irregolare; l'obiettivo della macchina fotografica (Ob) è coperto dal mirino ma è rivolto verso l'oggetto. L'immagine prodotta dall'obiettivo (Imm) è reale e viene proiettata (se la messa a fuoco è corretta) su un piano corrispondente alla posizione normale della pellicola; su tale piano è stato posto un pezzo di "carta da lucidi", diffondente, che visualizza l'immagine Imm . È evidente che l'immagine è rovesciata ed impiccolita rispetto all'oggetto, tutto come in fig. 47.

Le parti rimanenti della macchina sono una "camera oscura", cioè un involucro a tenuta di luce, gli organi per il trasporto della pellicola, l'otturatore, l'esposimetro, ecc.

NB: in questa prova, si è utilizzato un obiettivo normale, con una focale di 58 mm, con un'apertura di $f\# = 2$.



La verifica di questo schema si può eseguire con una normale fotocamera a pellicola, privata del dorso, come illustrato in fig. 48.

LE IMMAGINI VIRTUALI

Se l'immagine "reale" è quella formata da fasci convergenti, e che si può raccogliere su uno schermo, si può immaginare un'immagine "virtuale" che non esiste, non si può raccogliere su uno schermo, ma si può ricostruire geometricamente come prolungamento di raggi reali. L'esempio più banale di immagine virtuale è quello fornito da uno specchio, e ne riparleremo, ma anche fra le lenti c'è un esempio ben noto: quello della lente d'ingrandimento; i francesi la chiamano "loupe" (pron. "lup") e così faremo noi per brevità. Attraverso una loupe "si vede la mosca più grande", ma la mosca è sempre quella. Il trucco è questo (vedi il manuale "Problemi tecnici della microscopia...", Cap. 2.7 e 4.1): sia data una lente convergente L come in fig. 49. Supponiamo di porre l'occhio (Au) in modo che la pupilla (O) si trovi presso il fuoco-immagine della lente. Se l'occhio osservasse direttamente un oggetto (il segmento AB , per es.) alla distanza convenzionale di 250 mm, lo vedrebbe sotto un piccolo angolo (α in figura; α è la lettera greca "alfa"); ma, attraverso la lente L , si può vedere nitido l'oggetto AB ponendolo più vicino¹⁹, in

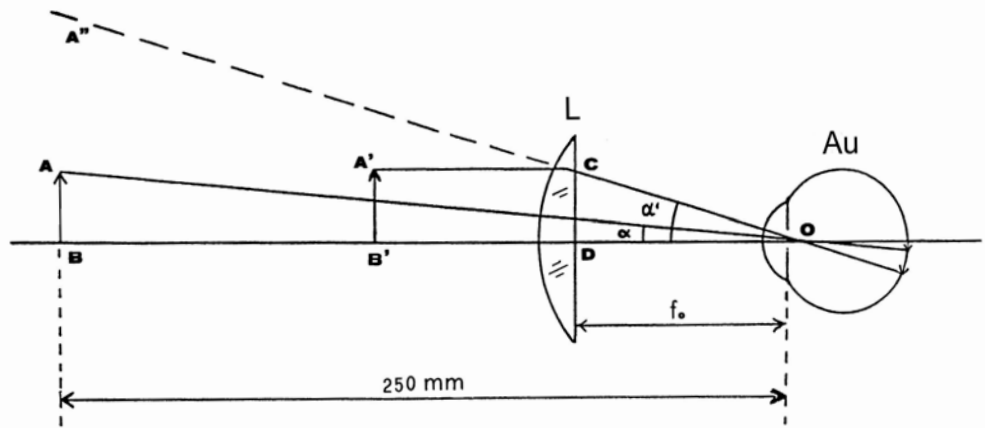
¹⁸ Le distanze oggetto-lente e lente-immagine si chiamano "coniugate" (coniugata-oggetto e coniugata-immagine): "coniugate" poiché, fissata la prima, risulta determinata anche l'altra, a parità di focale.

¹⁹ perché "più vicino" dipende da questo fatto: l'immagine che ne segue non si vedrebbe a fuoco.

A'B': un raggio come A'C proveniente dall'oggetto viene deviato dalla lente e viene visto nella direzione OCA". È come dire che l'oggetto AB viene visto come A'B, cioè come immagine virtuale ingrandita e **diritta**. Questa immagine è virtuale, poiché non è formata dalla convergenza di raggi e non si può raccogliere su uno schermo: solo il nostro occhio la può percepire, poiché contiene al suo interno delle lenti che producono un'immagine reale impiccolita sulla sua superficie sensibile (retina).

Fig. 49

Schema del funzionamento di una "loupe" e della formazione di un'immagine virtuale ingrandita (A'') che l'occhio dell'osservatore (Au) vede in luogo dell'oggetto vero (A o A'). Per consuetudine, tutti i calcoli si fanno considerando gli oggetti ad una distanza "convenzionale" di 250 mm, presa come "distanza della visione distinta" per un "occhio medio".



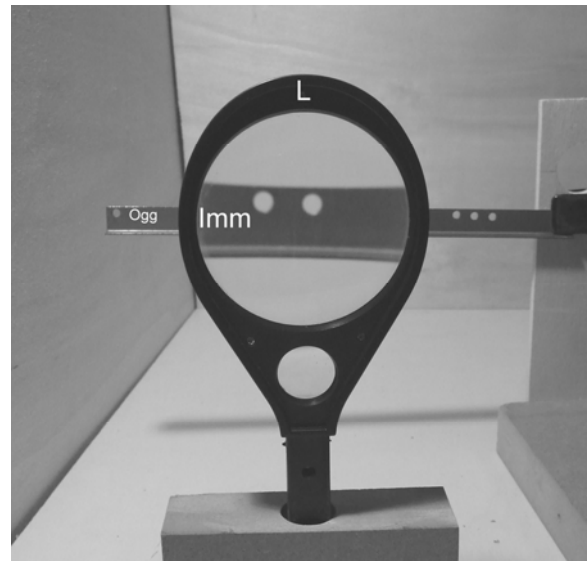
Una verifica dello schema di fig. 49 è visibile in fig. 50. L'oggetto (Ogg) è posto ad una distanza dalla lente non superiore alla focale.

Fig. 50

Uso pratico della lente d'ingrandimento o "loupe": l'oggetto (Ogg) si trova presso il fuoco della lente L e la lente ce ne mostra un'immagine virtuale **diritta** ed ingrandita (Imm). Si noti che nella foto appare un'immagine virtuale: ma non avevamo detto che una tale immagine non si può proiettare su uno schermo? In questo caso, l'obiettivo fotografico si è comportato come le lenti del nostro occhio e proietta sulla pellicola un'immagine reale dell'immagine virtuale creata dalla loupe. Così, noi vediamo la nostra immagine (virtuale) allo specchio solo perché le lenti del nostro occhio la proiettano, reale, sulla retina.

La forma dell'oggetto (un trafilato a L con fori presso l'orlo superiore) consente di verificare che l'immagine è diritta.

NB: benché i lati dell'oggetto siano perfettamente paralleli, essi appaiono ricurvi attraverso la lente ed il trafilato appare strozzato al centro: questa è una manifestazione di una particolare aberrazione, detta "distorsione". Ne parleremo in un prossimo articolo.



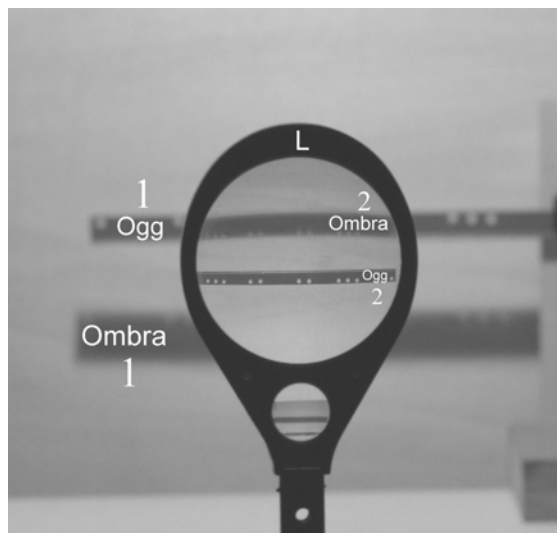
Però, secondo la fig. 46, 47 e 48, la stessa lente convergente può fornire un'immagine reale rovesciata ed impiccolita. Come mai questo cambiamento? Come al solito, è solo questione di distanze. In fig. 46-48, l'oggetto si trova ad una distanza dalla lente superiore al doppio della focale; in fig. 50, l'oggetto si trova ad una distanza dalla lente non superiore alla focale. Quello che è mostrato in fig. 46-48 (immagine reale proiettata su uno schermo) si può osservare anche attraverso la lente se l'oggetto è ancora posto davanti alla lente stessa, ma ad una distanza superiore al doppio della focale (fig. 51)

Fig. 51

L'oggetto 1 (lo stesso trafilato a L della figura precedente) è posto presso uno schermo di cartone in modo che la lampada (posta in alto, fuori figura) ne crei un'ombra allargata (in basso: Ombra 1). L'ombra 1 è ovviamente sfocata, al punto da rendere quasi invisibili i fori esistenti presso l'orlo superiore del trafilato. Oggetto ed ombra appaiono comunque sfocati poiché la foto è stata ripresa mettendo a fuoco la lente, che è assai più vicina all'osservatore.

L'immagine visibile attraverso la lente è ovviamente impiccolita e **rovesciata**: l'ombra 2 si vede infatti sopra all'oggetto 2, mentre sappiamo che sullo schermo è al di sotto.

Si noti che anche questa volta i bordi dell'oggetto e della sua ombra appaiono ricurvi nell'immagine visibile all'interno della lente: ancora un effetto della distorsione della lente, ma stavolta con curvatura opposta; l'immagine appare dilatata al centro invece che ristretta.



In fig. 51 l'immagine reale fornita dalla lente L si forma davanti alla lente, dalla parte dell'osservatore, ed è stata fotografata assieme alla lente ed all'oggetto che si trova sullo sfondo.

Si noti che, in questo come in tutti gli altri dispositivi sperimentali proposti, non si danno indicazioni precise sulle distanze fra le varie parti: esse dipendono, infatti, dalla focale della lente utilizzata.

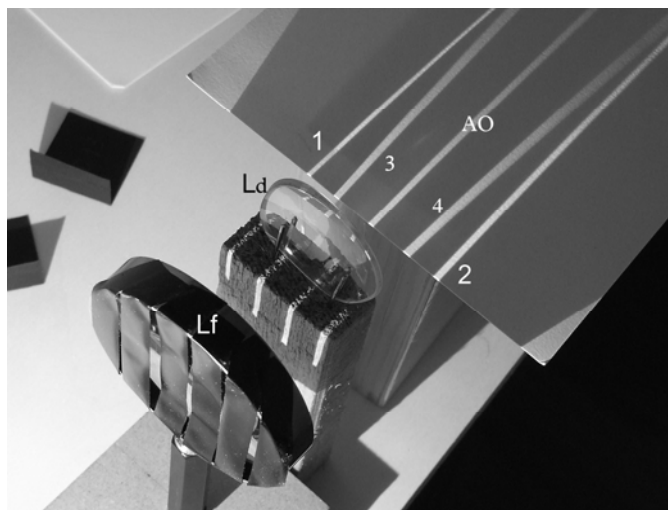
LE LENTI DIVERGENTI

Si è detto che una lente più sottile al centro che non ai margini, è detta "divergente"; se essa riceve un fascio di raggi paralleli, li rende divergenti. In prima approssimazione, questo è vero e lo si dimostra facilmente recuperando il dispositivo di fig. 41 ma sostituendo la lente convergente L ivi prevista con una divergente. In fig. 52 si è utilizzata una lente da occhiali (L_d), che si può chiedere in un negozio di ottica, specificando "una lente da miope con potenza (sferica) di almeno -3 D " (tre diottrie). Se la lente è di recupero, il costo dovrebbe essere ragionevole; le lenti "di fabbrica", ancora del diametro originario, sono più grandi, ma costano molto.

Fig. 52

Una lente divergente L_d , interposta nel cammino dei fasci paralleli, li fa divergere. Che altro potrebbe fare? Usando una lente da occhiali di recupero, di dimensioni già ridotte per adattarla alla montatura degli occhiali, si riusciranno ad intercettare solo i tre fasci centrali prodotti dalla lente a fessure (L_f , alla sinistra della figura, vista di scorcio). I due fasci laterali (1 e 2) proseguono dritti poiché passano fuori dalla lente. Il fascio centrale, che potrebbe coincidere coll'asse ottico della lente (AO), se attraversa il centro della lente, non viene deviato per quanto detto a suo tempo.

Le lenti qui usata è da -3 D (sferica).

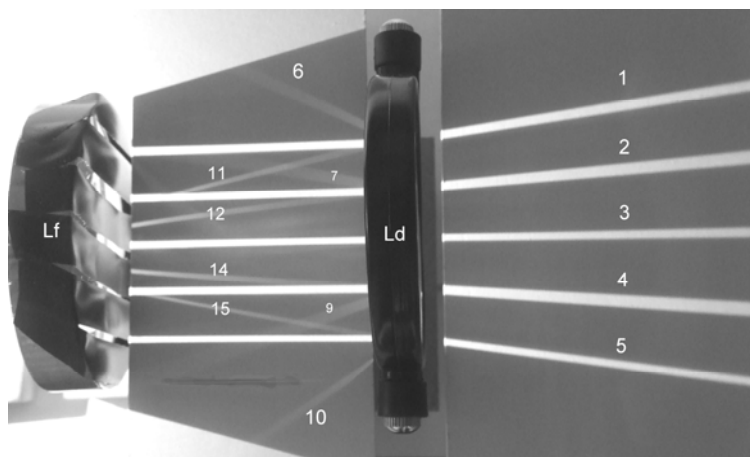


A questo punto può convenire ordinare all'indirizzo già citato (E.D.-Elettronica didattica, CP 87, CAP 23898, IMBERSAGO, (LC), tel. 039-99 20 107) una lente biconcava, già fornita di montatura e supporto da tavolo (N° di catal. OT 0090). Il dispositivo diviene allora capace di intercettare tutti i cinque fasci forniti dalla lente a fessure: vedi la fig. 53 (nota ²⁰). I fasci più esterni, che non attraversavano la lente in fig. 52 (1 e 2), ora invece sono interessati dalla lente L_d di fig. 53 (fasci 1 e 5) e divergono anch'essi.

²⁰ su cui ritorneremo più avanti, quando parleremo di specchi.

Fig. 53

Una lente divergente di grande diametro produce il suo effetto su tutti i fasci paralleli prodotti dalla lente a fessure Lf. I fasci numerati da 6 a 15 sono fasci riflessi dalle due superfici della lente Ld ; ne ripareremo. Essi sono resi visibili per la traccia che lasciano su una striscia orizzontale di cartone posta fra le due lenti. La lente Ld è una lente biconcava nella sua montatura, di diametro simile a quello dalla lente a fessure Lf.



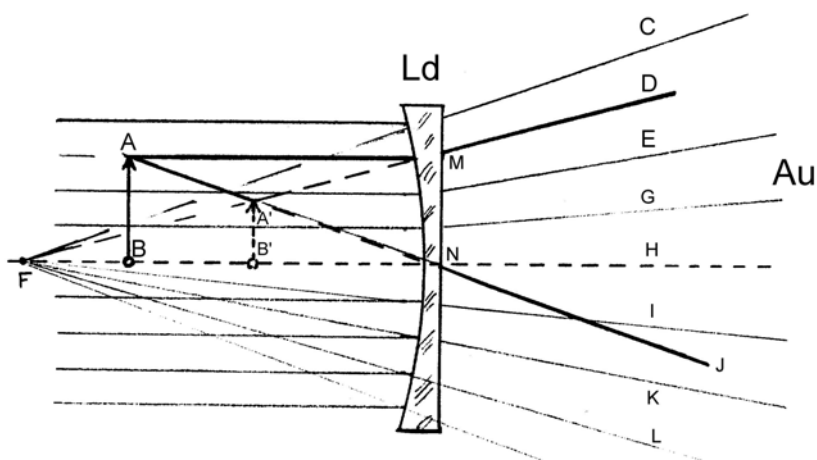
Salvo casi particolari, una lente divergente fornisce immagini virtuali; infatti, se essa fa divergere i raggi che l'attraversano, non può farli convergere verso un'immagine reale, e soltanto un'immagine reale si può raccogliere su uno schermo.

La faccenda funziona così (fig. 54): un fascio parallelo attraversa la lente piano-concava Ld e diverge. Al di là della lente non esistono raggi convergenti ed è inutile metterci uno schermo. Se però prolunghiamo all'indietro i raggi divergenti, come C, D ... ecc., fino ad L, possiamo ricostruire un fuoco fittizio, virtuale appunto, in F^{21} . Se però poniamo davanti alla lente un oggetto, schematizzato in fig. 54 col solito segmento AB, vediamo che il raggio ANJ, traversando il centro della lente, non viene deviato; invece il raggio AMD viene deviato in M. Prolungando all'indietro il raggio DM però, esso incontra il raggio AN non in A ma in A'. Così A' diviene l'immagine virtuale di A e l'immagine virtuale dell'intero oggetto AB sarà A'B' (tracciando all'indietro il raggio indeviato HN si incontrano sia B che B').

Fig. 54

Schema di formazione del fuoco e delle immagini virtuali da parte di una lente divergente. La retta FBB'NH rappresenta l'asse ottico della lente. Il punto N ne è il centro.

A destra della lente, si immagini l'occhio di un osservatore (Au) che guarda nella lente.



Se ora poniamo l'occhio a destra della lente (in Au) e vi guardiamo dentro, vedremo non l'oggetto reale AB, ma la sua immagine virtuale A'B'. Si può dimostrare che una lente divergente fornisce sempre un'immagine virtuale **impiccolita** e **diritta** di un'oggetto.

La prova? Mettere una lente divergente davanti ad un oggetto qualunque, a qualunque distanza, e guardare l'oggetto attraverso la lente: la fig. 55 mostra ciò che si vede.

²¹ Questo sarà il fuoco-immagine (virtuale) della lente, anche se sta dalla parte dell'oggetto.

Fig. 55

L'oggetto è il solito profilato a L, forato; l'immagine è evidentemente diritta ed impiccolita. Oggetto ed immagine non possono essere visti a fuoco simultaneamente poiché si trovano su piani diversi.

Qui si è usata la grande lente biconcava, in montatura, che si vede anche in fig. 53 (Ld).

