SULL' EFFICACIA DELLE GRANDI APERTURE NEI MICROSCOPII
COMPOSTI; CONSIDERAZIONI DEL PROFESSORE GILBERTO
GOVI.

Il prof. G. M. Cavalleri nell' adunanza del 26 gennaio 1863 espose davanti alla *Classe di Scienze matematiche e naturali* del R.^o Istituto Lombardo (V. *Rendiconti del R. Istituto Lombardo*, vol. II, fasc. 1.^o) certe sue vedute intorno all' utilità dei grandissimi angoli d' apertura che i costruttori sogliono dare a microscopii composti, per le quali vedute esso verrebbe a dimostrare interamente illusorie siffatte aperture, che i fabbricati cercherebbero d' ottenere solo per comodo della lavorazione. Siccome io pure ebbi più volte ad occuparmi di tal materia, dapprima coll' Amici, poi col Giurì dell' Esposizione di Firenze del 1861 e con quello di Londra nel 1862, così credo di potere, senza meritare l' accusa di soverchio ardimento, levar la voce in questo incontro per combattere gli argomenti addotti dal Prof. Cavalleri, il quale non s' offenderà delle mie parole, se, come valente indagatore della natura, egli sia più amante del vero che delle proprie opinioni.

I dubbi addotti dal Prof. Porro contro l' efficacia delle grandi aperture ne' microscopii, dubbi dai quali sembra aver preso le mosse il Prof. Cavalleri, io li conosceva da parecchi anni, e più volte ebbi l' occasione di intrattenermene col Porro stesso; ma le ragioni da lui messe in campo stavano propriamente contro il principio del dare ai microscopii aperture superiori a un certo numero di gradi, mentre

invece le ragioni e le sperienze del Prof. Cavalleri tendono soltanto a dimostrare che negli attuali microscopii non si trae partito realmente se non che da una minima parte dell'apertura data dal costruttore al sistema obiettivo. — Al Porro rispose già più volte conversando l' Amici, e possono rispondere le osservazioni quotidiane dei più delicati *pro-vini* (*test-objects*), le immagini dei quali non appaiono in guisa alcuna deformate, per quanto sia larga l'apertura obbiettiva e si spinga innanzi l'ingrandimento; rispondono poi teoricamente i lavori degli ottici inglesi e tedeschi da Lister in poi fino 'al Nægeli, il quale sta ora pubblicando un eccellente libro sul microscopio; dove tratta pure codesto argomento (*Das mikroskop. Theorie und anwendung desselben*, Leipzig 1865, in 8.^o).

Il Prof. Cavalleri ammette che « dall'apertura angolare d'una lente obbiettiva dipende la chiarezza, e soprattutto la precisione del microscopio, » poi misurando le aperture dei varii obbiettivi d'un microscopio di Hartnack, le trova crescenti da 47° fino a 165° gradi; ma venuto alla ricerca della utilità che veramente esse recano alla osservazione, conchiude che « in tutte le aperture delle obbiettive dell'Hartnack non è attiva che una sola parte, la quale non ha più di 30 gradi, » quindi tutto il resto dell'apertura è fatica gettata. È bensì vero che il Prof. Cavalleri crede minor fatica il costruire obbiettivi con larghe aperture, anzi con aperture minori, e attribuisce a siffatto motivo la preferenza che gli ottici pratici danno alle aperture larghissime; ma io son certo che nessun fabbricante di microscopii sarà di tale avviso, e che tutti preferiranno di lavorare sistemi ad apertura di 30 gradi, piuttostochè combinazioni di lenti con un angolo di 170°. — L'Hartnack e gli altri ottici si adoprano ad ottenere aperture grandissime perchè ne hanno riconosciuto l'utilità, non partendo forse da principii teorici, ma seguendo la pratica, la quale è pur sempre in perfetta armonia colla teorica, dove siano stati ben posti i principii di questa. — Ora il principio teorico, dal quale deriva la necessità delle grandi aperture, consiste nell'ammettere che ogni punto d'un corpo luminoso od illumi-

nato manda luce in tutte le direzioni, mentre secondo il professore Cavalleri « questa supposizione è falsa ». A suo credere « un oggetto trasparente o semi-trasparente, osservato al microscopio ed illuminato per disotto, non manda « raggi ben utili se non nella direzione del cono luminoso « formato dallo specchio concavo, od anche dal piano, sebbene lo specchio piano ne mandi un cono o fascio molto « più piccolo ». — Da ciò la conseguenza, che gli specchietti del microscopio di Hartnack mandando sull'oggetto un cono luminoso di 30 gradi, l'obbiettivo n.º 10 per esempio, non può utilizzarne di più e quindi riescono inutili 135 dei suoi 165 gradi d'apertura.

Se così stessero veramente le cose, e si ammettesse nullaostante il vantaggio delle aperture grandi, come lo ammette il Prof. Cavalleri, non ci sarebbe altro da fare per migliorare gli eccellenti microscopii, se non che disporre sotto l'oggetto una lente condensatrice a cortissimo foco, la quale permettesse d'illuminar gli oggetti con larghissimi coni di luce, ma l'uso di siffatte lenti, quantunque giovevole in alcuni casi e per altri motivi, non accresce sensibilmente la potenza dei microscopii, perchè l'apertura del cono di luce incidente ha un'influenza assai piccola (se pure ne ha alcuna) sulla visibilità delle minime parti dei corpi. — Non è dunque l'angolo del cono luminoso incidente che determina l'apertura utile nei microscopii, e la *supposizione* stimata *falsa* del Prof. Cavalleri è tutt'altro che falsa. Siccome però l'obiezione mossa dal fisico di Monza potrebbe per la sua speciosità trarre in errore chi ha men famigliari i principii dell'ottica, e condurlo a trascurare un elemento essenzialissimo alla bontà di microscopii, così mi permetterò di esporre qui brevemente quelle considerazioni che valgono a combatterla, ritenendo non essere mai inutile ufficio quello di precisar meglio le nozioni che servono di base a qualunque ramo di scientifiche discipline.

Uno *stromento ottico* ci mostra gli oggetti perchè, raccogliendo i raggi luminosi emanati da ogni loro punto, li riaddezza ed unisce in altrettanti punti disposti in modo simmetrico rapporto ai primi, e situati a tale distanza dall'occhio

nostro che questo li possa vedere distintamente. L'occhio poi, in quanto è stromento ottico, ripete esattamente la stessa azione sui raggi che gli pervengono dal primo congegno, e noi vediamo distintamente le immagini degli oggetti, allora soltanto, quando i punti di riaddensamento de' raggi che giungono all'occhio, si trovino sulla retina che ne tappezza la cavità. — Perchè si vegga distintamente però non basta codesta riunione esatta in un sol punto della retina di tutti quei raggi che partirono inizialmente da un solo punto di un oggetto, ma è necessario ancora che codesti raggi non vi giungano nè soverchiamente intensi, nè troppo indeboliti, e bisogna altresì che i punti di riunione sulla retina siano così distanti gli uni dagli altri da occupare elementi nervosi diversi, senza di che le immagini di più punti produrrebbero l'impressione d'una immagine sola. Uno stromento ottico deve quindi, per ben adempire al suo ufficio di *mostrar meglio le cose*, raccogliere luce sufficiente ma non troppa dai varii punti degli oggetti per mandarla nell'occhio, e separare le immagini di essi punti per intervalli abbastanza considerevoli, affinchè l'occhio le senta poi con elementi nervosi distinti. — Il primo ufficio riguarda la *luminosità* o l'*intensità* delle immagini; — il secondo l'*ingrandimento* e la *separazione* o la *facoltà dirimente*. Di questo secondo ufficio degli stromenti ottici ebbi già altre volte (1) occasione di trattare, esponendo la costruzione e l'uso del *Megametro*, nè intendo riparlare in questo luogo. Le obbiezioni invece del Prof. Cavallieri mi conducono a discorrere del primo, cioè dell'ufficio di rendere *lumineuse* o *chiare* in modo conveniente le immagini, poichè a ciò si riduce la quistione delle aperture angolari degli obbiettivi microscopici.

Il microscopio, in quanto è stromento ottico, deve soddisfare alle condizioni indicate poc' anzi come essenziali a siffatti stromenti, e però oltre all'aumentare la distanza ap-

(1) Seduta accademica del dì 8 febbrajo 1863. Un cenno sulla costruzione e sull'uso del *Megametro* era già stato pubblicato dall'Autore nel *Monitore Toscano* del 20 Agosto 1861. Vedi auco il *Nuovo Cimento*, fascicolo del Marzo 1863.

parente fra i punti luminosi degli oggetti situati su uno stesso piano, e quindi la separabilità delle sensazioni che da essi provengono, deve ancora raccogliere molta, ma non troppa luce da ciascuno di essi per condurla sulla retina. Ora è assai raro che i punti degli oggetti osservati col microscopio siano di tale intensità luminosa da abbacinare l'organo che li contempi, e i vetri o gli specchi del microscopio distruggono d'altronde tanta parte di quella forza che noi chiamiam luce, da lasciarne giugnere all'occhio solo una piccolissima porzione. Così accade che le immagini ottiche pecchino sempre piuttosto per difetto di chiarezza che per eccesso, e che il microscopio sia tanto migliore, quanti più raggi può raccogliere e riaddensare di quelli infiniti che si spiccarono da ciascun punto dell'oggetto guardato. — Ogni punto luminoso isolato manda raggi in tutti i sensi, o per parlare con maggior esattezza, genera intorno a sè un moto vibratorio nell'etere che si va propagando sfericamente all'intorno; ma di codeste onde sferiche noi non possiamo accogliere, sia nell'occhio, sia negli stromenti, che una piccola porzione, tutt'al più una metà, della quale varii ostacoli sopprimono spesso una gran parte; così che realmente ciascun punto lucido mandi sull'organo destinato ad osservarlo, non una sfera di luce, ma una porzione di essa misurata dall'angolo al vertice di un cono avente la punta sulla sorgente del lume e la base sull'apertura libera dell'organo osservatore, detraendo ancora dalla calotta sferica così limitata quel tanto che gli ostacoli frapposti ne intercettano.

Tutto il cono lucido, che invase l'apertura libera del microscopio, non giugne però sempre sino all'occhio, perchè le lenti e gli specchi intermedi, o i diaframmi frapposti ne trattengono una qualche porzione; sicchè per valutare l'apertura utile dello stromento conviene misurarla quando tutte le parti di esso occupano il loro luogo, e non quando la prima lente, o il primo sistema di lenti, o il primo organo attivo agiscono da soli, potendosi trovare in tal caso maggiore assai l'apertura *attuale* che non sia poi quella *definitiva*. Infatti se noi accostiamo fino a contatto il punto lumi-

noso al primo organo ottico (*lente o specchio*) destinato a guardarlo, noi aumentiamo sempre più l'angolo al vertice del cono lucido incidente e quindi la grandezza dell'apertura, la quale finisce per abbracciare almeno un cono di 180° . Ma le lenti o gli specchi che succedono al primo organo attivo, non sono sempre, anzi non sono mai siffattamente disposti da poter raccogliere tutti i raggi di quel primo cono e ricondurli ad un punto, quindi non vi è microscopio che veda per 180° d'apertura. Non è possibile d'altronde di porre a contatto tutti i varii punti dell'oggetto colla prima superficie attiva, e quando pure lo si potesse, non converrebbe di farlo nella maggior parte dei casi, quindi l'angolo di massima apertura teorica non è poi conseguibile in pratica. A tutto rigore se avessimo punti luminosi sufficientemente isolati da guardare, si potrebbe accrescere anche il cono lucido abbracciato oltre ai 180° , introducendo i punti stessi in organi ottici cavi, lavorati in modo conveniente; ma siffatto concetto teorico può quasi dirsi impraticabile, e, messo in opera, non gioverebbe probabilmente guari alla osservazione per la minimezza delle parti che esso permetterebbe di considerare.

Chiamando quindi cogli ottici *apertura* del microscopio non la superficie libera dell'obbiettivo, ma l'angolo al vertice del cono luminoso che, partito da un punto dell'oggetto si ricondensa nel foco dell'oculare, si può dire che non si hanno mai, nè si possono avere aperture maggiori di 180° , ma che si fanno anzi sempre sensibilmente inferiori a questo limite, per lasciare un certo intervallo fra l'oggetto e il primo organo ottico attivo.

I migliori stromenti di Amici, di Powell e Lealand, di Hartnack, di Nachet, ec. abbracciano di rado più di 170° .

Quanto è più forte l'*ingrandimento* dato da un microscopio, tanto maggiore deve essere la sua apertura, perchè in tal caso è minore l'estensione d'ogni minima superficie che concorre a produrre sull'occhio coi diversi suoi punti una sensazione unica e distinta, e però bisogna raccogliere maggior copia di raggi da ciascuna di esse per ottenere un'impressione abbastanza forte; mentre coi deboli ingran-

dimenti, si guardano gruppi talmente numerosi di punti che, sommando le loro azioni, se ne ha una risultante abbastanza efficace anche se l'apertura sia piccola. Non si deve dimenticare mai che il concetto teorico de' punti lucidi osservati separatamente è geometrico non pratico, i punti che noi possiamo distinguere corrispondendo sempre a superficie estese, quantunque talvolta piccolissime.

Coi microscopii non si sogliono guardare corpi luminosi per sè, dove però lo si dovesse, ognuno intende facilmente come in tal caso ogni punto lucido invierebbe nel microscopio un cono di raggi d'apertura precisamente eguale a quella che lo stromento può accogliere, e sarebbe tolto così ogni dubbio intorno all'efficacia delle larghe aperture per mostrare chiaramente le immagini. Ma il più delle volte si guardano corpi non aventi luce propria, e rischiarati invece o da lume che li percuote sulla faccia esterna e volta verso chi li contempla, o da luce che li rischiarà insinuandosi nella loro sostanza per la faccia opposta a quella che sta dinanzi all'occhio del riguardante. — In codesti due casi il modo di raggiamento de' varii punti non è più così evidente che non possa taluno essere tratto in errore nel giudicarne, ed è perciò opportunissimo lo studiarlo minutamente.

Il raziocinio, l'osservazione, l'esperienza, tutto ne conduce ad ammettere che i corpi ci riescono visibili solo perchè, o diffondono la luce che vi cade sopra, o disseminano quella che li penetra, non perchè riflettano l'una specularmente od aprano all'altra una libera via attraverso alla loro propria sostanza.

Se un corpo riflettesse perfettamente il moto luminoso senza diffonderlo, codesto corpo non riuscirebbe visibile, e noi vedremmo in vece di esso l'immagine riflessa della sorgente di luce che lo colpisse. — Uno specchio di vetro inargentato sulla faccia anteriore col metodo di Foucault rappresenta presso a poco un corpo riflettente perfetto, e gli ottici sanno quanto poco esso riesca visibile, e come invece si distinguano perfettamente al di là della sua superficie le immagini degli oggetti situati anteriormente.

Si ponga sotto il microscopio uno specchietto di Söm-

mering come oggetto da guardarsi, e si provi a illuminarlo vivamente allora, o si vedrà appena la superficie di acciaio brunito, o il microscopio sarà invaso da un' onda di luce riflessa della sorgente, la quale toglierà ogni possibilità di veder la faccia dello specchietto, secondochè il lume incidente cadrà sull' acciaio sotto un angolo qualunque, o lo urterà sotto un angolo tale da venir rimandato nell' asse del microscopio. La carta bianca, o meglio una superficie imbiancata col carbonato di piombo, coll' ossido di zinco ec., non dà immagine alcuna discernibile della sorgente luminosa che la rischiara (od almeno l' immagine vi è siffattamente appannata dalla luce diffusa, da riescire completamente invisibile), ma ogni punto di essa divien fonte di luce derivata, che irradia in tutti i sensi, o perchè avvengano in ciascun punto molteplici riflessioni del lume incidente, o perchè sotto l' impulso del lume esteriore le particelle del corpo si mettano in moto vibratorio, o perchè si scuota ed oscilli per ogni verso l' etere variamente addensato intorno a quelle minime parti. — Intanto il lume diffuso da quella superficie, non è più sensibilmente collegato dalla legge delle riflessione speculare colla luce incidente, e noi possiamo scorgerlo in qualunque direzione, da quella normale alla superficie medesima sino a quella radente. Se dunque una superficie non levigata diffonderà luce, e la luce diffusa da ogni suo punto si guarderà con un apparato ottico a larga apertura, potrà ciascun punto inviare nello strumento un cono luminoso efficace d' angolo precisamente eguale a quello dell' apertura disponibile. — In tal caso il Prof. Cavalleri stesso non contesta la possibilità di utilizzare le grandi aperture, ma fondandosi su certe sue sperienze che mostrano aversi allora cattive immagini da obiettivi molto aperti, esso cita codeste sperienze per provare che le massime aperture attuali sono inutili e dannose. — Ora la poca precisione delle immagini osservate dal Prof. Cavalleri illuminando molto obliquamente corpi opachi, non proviene già da colpa delle larghe aperture, ma dalla riflessione speculare di una gran parte della luce incidente (riflessione che non può servire a far veder l' oggetto), dalla illuminazione propria della

materia stessa onde son fatte le lenti, che tende ad annerbiare il campo, e dall' esagerazione delle ombre che turbano la distinta visione delle parti minute. — Stringendo l' area libera dell' obbiettivo, si lascia entrare nel sistema ottico minor quantità di lume avventizio, e le immagini si fanno più nette, ma, perchè appunto si stringe l' apertura della lente, si scema la luce che concorre a formar l' immagine di ciascun punto dell' oggetto, e però questo appare tanto più buio quanto più l' apertura s' impicciolisce.

Non bisogna dimenticar mai nel giudicare gli strumenti ottici, che per essi abbiamo immagini tanto più vive de' punti luminosi, quant' è maggiore la copia de' raggi che, partiti da questi, giungono a raccogliersi senza aberrazioni di sorta nel foco virtuale dell' oculare. — Ora egli è evidente che ogni punto darà tanti più raggi alla sua immagine quanto più larga si offrirà l' apertura obbiettiva a riceverli. — Purchè dunque si correggano tutte le aberrazioni, dovranno le larghe aperture valer meglio delle minori a mostrar chiari e distinti i varii punti luminosi degli oggetti. Gli obbiettivi di Powell e Lealand, quelli di Nacet, quelli di Hartnack, quelli d' Amici sono appunto siffattamente combinati che, lasciando usufruire di tutta l' apertura obbiettiva, danno dietro di sè, per un campo assai vasto, una riunione perfetta de' raggi incidenti in altrettanti fochi precisi quanti sono i punti luminosi corrispondenti. — Ad ottener la qual cosa contribuiscono pure gli oculari, i quali distruggono quelle poche aberrazioni che i sistemi obbiettivi non avevano corrette.

Quando poi un corpo sia così permeabile dalla luce che tutta la lasci trascorrere senza rifletterne, diffonderne o distrarne alcuna minima parte, allora codesto corpo riesce per noi invisibile, siccome lo era lo specchio levigatissimo del quale si è parlato poc' anzi. I gaz scevri di vapori in via di condensazione sono presso a poco sostanze perfettamente trasparenti; ma solo presso a poco, perchè i gaz pure riflettono e disseminano lume, siccome ne fanno fede la loro azione rifrangente e dispersiva, i crepuscoli, la luce delle comete, la tinta azzurra del cielo, la polarizzazione del chiarore atmosferico, ecc. Tutti gli altri corpi della na-

tura trattengono sempre qualche poco del moto luminoso che li attraversa e ne concepiscono una luminosità loro propria, durevole (*fosforescenza e fluorescenza*) o istantanea (*disseminazione*), ma sempre tale da renderli visibili, il che non accadrebbe dove si lasciasse liberamente attraversar dalla luce. — Esser visibile dunque vuol dire, per un corpo trasparente, trasformare in lume suo proprio una porzione di quello che lo attraversa, ed esso diventa tanto più visibile quanta minor luce lascia passare, e quanta più ne fa sua. — Si pigliano per esempio tre cubi di vetro, uno incolore, l'altro tinto in verde-pisello coll'ossido di Urano, un terzo reso opalino da fosfato di calce, e s'immergano insieme in un fascio di raggi polari paralleli che penetrino in una stanza buia; si vedrà il cubo incolore illuminarsi appena di una debolissima luce e venir pochissimo diradata per esso l'oscurità della stanza, ma appena s'introduca nel fascio lucido il cubo tinto dall'Uranio o l'altro opalino, subito si vedranno l'uno e l'altro accendersi quasi come fiaccole e mandar luce vivissima dissipando le tenebre che stanno loro dattorno. Tutti e tre codesti cubi riesciranno poi visibili in qualunque direzione e sotto qualunque angolo, perchè appunto la luce penetrata in essi si è trasformata in luce loro propria, o si è disseminata per ogni verso, sia che la rifrazione o la riflessione l'abbia distorta in varie parti, sia che per essa siansi eccitate le oscillazioni delle particelle de' corpi attraversati, o di quelle dell'etere che le circonda, divenute così nuove fonti di splendore. Pongasi ora sul tragitto dei fasci illuminanti, invece dei tre cubi un corpo semidiafano qualunque, come sono gli oggetti microscopici, e lo si vedrà divenir luminoso per conto suo proprio, e diffondere luce da ogni banda senza che la direzione dei raggi incidenti abbia alcuna influenza su quella del lume disseminato che se ne diparte. — È facile il verificare codesto asserto ponendo un minimo oggetto traslucido (una gocciolina di carmino per esempio) su una lastrina di vetro, e facendovi cader sopra in una stanza buia raggi paralleli, convergenti o divergenti sotto qualunque angolo. L'oggetto diverrà subito perfettamente visibile, sia che lo si guardi nella direzione del lume.

che l'attraversa, sia che si vada a osservarlo a 90° da quella prima direzione. Anzi quanto più si allontanerà l'occhio dal cono lucido illuminatore, e tanto più esso discernerà le forme vere e le minime parti dell'oggetto stesso; perchè le immagini di queste non saranno più dilavate dall'onda eccessiva della luce diretta, e si formeranno soltanto pei raggi che veramente nascono e si diffondono da quelle parti. — Si può avere con una camera oscura da fotografi una imaginetta chiarissima dell'oggetto illuminato, ponendo l'asse della lente a quasi 90° dalla direzione del lume incidente. — E tanto è vero codesto diffondersi della luce per opera dei corpi semitrasparenti, che se si riceva sopra un vetro appannato l'immagine reale che dà una lente degli oggetti posti dinanzi ad essa, siffatta immagine si potrà osservare sul vetro o coll'occhio o col microscopio sotto qualsivoglia angolo, benchè ogni suo punto sia formato nello spazio dal vertice di coni luminosi d'angolo talvolta piccolissimo. Perchè dunque in tal caso un punto luminoso si fa visibile fuori del cono di raggi che esso manda, se non perchè quei raggi destan sul vetro appannato tanti nuovi centri di luce irradianti il loro moto in tutte le direzioni? Qual è poi quel corpo traslucido siffattamente omogeneo e a faccie così piane e parallele in ogni sua parte, da non rifrangere il lume deviandolo sensibilmente dal suo corso, come farebbe un'accozzaglia di lenti o di prismi d'ogni specie variamente aggruppati? — Qual è quel corpo che non dissemini luce? — Qual è quello che non divenga in parte fluorescente? — Qual è quello che non distorca per diffrazione o per altro modo analogo gli urti ondosi che tentano d'attraversarlo?

Non è dunque sostenibile in nessun modo la tesi: che i punti dei corpi traslucidi emettano soltanto coni di raggi efficaci d'un angolo eguale a quello dei coni luminosi incidenti, nè si può quindi ammettere che gli obbiettivi a larga apertura impiegati ad osservarli, agiscan solo per quel tanto di essa apertura che risponde al cono lucido illuminatore. Se poi si rifletta alquanto, si riconoscerà che, guardando un oggetto semitrasparente illuminato per disotto, si debbono vedere necessariamente nel tempo stesso due o più immagini

sovrapposte. L'una di esse è quella che si cerca, cioè l'immagine dell'oggetto, le altre son quelle della sorgente illuminatrice e dei varii mezzi attraversati dal lume prima d'arrivare all'oggetto. La prima è per solito più definita delle altre, perchè l'oggetto si trova su di un piano diverso da quello che contiene la sorgente luminosa e il resto, ma non è men vero però che le immagini diffuse concomitanti debbono turbare, appannare, e distruggere in parte quella dell'oggetto osservato. Sarà perciò tanto migliore il modo d'illuminazione degli oggetti microscopici quanto più il foco ultimo della sorgente di luce sarà lontano da quello del corpo sottoposto all'osservazione.

Sarebbe utilissimo di poter sopprimere il prolungamento del cono luminoso incidente, il quale (dopo di aver suscitato il raggiamento del corpo) entra nel sistema obbiettivo e va a spandersi sulla immagine oculare un velo di luce; quindi i vantaggi degli illuminatori obliqui, del settore lenticolare di Reade, del paraboloide di Wenham, ec.; ma la soppressione completa del cono illuminatore residuo non è agevole cosa. E neppure si riesce a distruggerlo polarizzando la luce che va all'oggetto, ed analizzando quella che emerge dall'oculare; atteso che l'oggetto non sempre depolarizza interamente la luce diffondendola, e i vetri del microscopio, o perchè temprati, o perchè compressi, agiscono un po' sui raggi polarizzati che li attraversano, e quindi lascian passare attraverso all'analizzatore qualche parte di luce diretta. Si ottiene però un sensibile miglioramento nella *definizione*, e nella *separazione*, delle minime parti dell'immagine, illuminando l'oggetto colla luce solare polarizzata, ed estinguendola con un prisma di Nicol all'uscita dall'oculare, perchè viene eliminata così una gran parte del fascio diretto, lasciandosi pressochè inalterata la luce diffusa e fatta sua dal corpo osservato; ma non si arriva mai per tal via ad assorbire completamente i raggi provenienti dalla sorgente luminosa impiegata, e se ne spengono sempre molti di quelli che partono dall'oggetto ciò che tende ad abbuiare l'immagine.

Il solo caso nel quale il cono della luce incidente abbia l'incarico di mostrarci i corpi o le loro parti è quello nel

quale si tratti di vedere su di un corpo opaco perfettamente riflettitore alcune porzioni di esso che non riflettano nè diffondano luce di sorta (punti neri senza lustro), o sovra d'un corpo non riflettente nè diffusivo certi spazietti dotati della facoltà di riflettere, o quello nel quale si debbano veder sospesi in una materia perfettamente diafana corpicciuoli od ostacoli impenetrabili pel lume o minimi forellini in sostanze opache, ec.; ma codesti casi non distruggono in nessuna maniera l'utilità delle larghe aperture, poichè gli obbietti che possono abbracciare un grande angolo, ne possono comprender senza scapito uno minore, e quindi la visibilità degli ostacoli o delle ombre non può venir per ciò nè alterata nè compromessa (1).

(1) Un'esperienza facilissima ad eseguirsi, e che potrà convincere i più renitenti del vero ufficio della luce incidente nelle osservazioni microscopiche consiste nel far cadere un fascio di luce solare in una camera oscura sovra un'immagine dipinta su vetro con colori a vernice, la quale immagine abbia alcune sue parti raschiate in guisa da presentar in quei luoghi il vetro a nudo. Pongasi a 54,6 centimetri dietro l'immagine dipinta una lente convessa di 31 centimetri di foco e si riceva a 3 metri dalla lente sovra una parete bianca l'immagine reale del dipinto traslucido. Codesta immagine apparirà nettissima e ben definita in ogni sua parte, e le porzioni raschiate o nude del vetro saranno le più luminose, e costituiranno i lumi del dipinto. Ma se si guardi nello spazio che sta fra la lente e la parete si vedranno a 31 centimetri dalla lente convergere i raggi solari nel foco che ad essi conviene, per divergerne poscia e stendersi ad illuminar la parete. Si collochi nel luogo dove i raggi solari si radunano a 31 centimetri dalla lente un piccolo disco opaco e nero attaccato sovra una lastra di vetro a facce parallele, e il disco sia tale che per esso la imaginetta del sole, che la si dipinge venga tutta coperta; si vedrà allora il dipinto conservare sulla parete la sua distinzione di prima in ogni sua parte, all'infuori di quelle che venivano ad essere illuminate liberamente dal sole, le quali appariranno invece abbatute in guisa da rendere l'immagine simile a quelle che si dicono negative dei fotografi.

Qui appare evidentissima la distinzione fra l'immagine della sorgente illuminatrice e quella dell'oggetto illuminato, poichè quella può esser tolta, questa rimanendo sensibilmente inalterata. Riesce poi chiarissima per tal guisa la differenza fra l'angolo del pennello illuminante e quello dell'apertura attiva della lente; infatti se si suppone che nell'esperienza citata questa abbia un decimetro di diametro, ciascun punto del sole manderà

Finalmente, 'per completare ciò che si riferisce alla illuminazione degli oggetti, rammentiamo che ogni loro punto, divenuto centro di movimento luminoso, apparirà tanto più vivo, quanto sarà più gagliardo l'urto impressogli dalla luce incidente, sicchè la vivacità e la distinzione dell'immagine, oltrechè dall'apertura dello stromento, dipenderanno ancora dalla forza del lume impiegato nell'osservazione.

Le diverse condizioni indispensabili alla perfetta visibilità degli oggetti microscopici saranno dunque : — l'intensità della luce incidente — l'attitudine dell'oggetto a disseminarla co' varii suoi punti, o l'opacità perfetta d'alcune sue parti e la trasparenza di altre — la soppressione di tutti quei raggi che, passati attraverso all'oggetto, non contribuiscono a produrre l'immagine — l'apertura massima dell'obbiettivo microscopico combinata colla perfetta correzione di tutte le aberrazioni che nascono dalla forma e dalla materia delle lenti — l'ingrandimento sufficiente.

Amici fin dal 1832 era pervenuto a lavorare obbiettivi di 80° d'apertura; nel 1844 ne faceva di 100° pei microscopii e di più che 150° per gli apparati di polarizzazione, e negli ultimi anni della sua vita era giunto a superare i 170°. Il March. Ferdinando Pauciatichi ha eseguito e possiede obbiettivi in rubino di 136°. Il venticinquesimo di pollice (1^{mm}.016) dei signori Powell e Lealand ha 150° d'apertura, e gli angoli degli obbiettivi di Nachet e di Hartnach raggiungono e superano codesti limiti. Insomma dacchè si studia seriamente il microscopio, tutti cercarono d'allargarne la *pupilla* (mi si consenta questa espressione) per farvi entrar maggior lume, non del corpo illuminante ma di quello illuminato. Forse alle aperture vi potrà essere un limite, e Carlo Brooke crede di averlo trovato nella necessità di conservare una certa *forza penetrante* al microscopio, forza a parer suo incompatibile colle aperture eccessive; ma se si rifletta che l'oggetto puossi accostare alla lente oggettiva esterna fino a dare

rà ad essa un cono di raggi d'angolo eguale a zero, mentre invece il dipinto collocato a 54,573 centimetri raggiungerà sulla lente dal suo punto centrale un cono di luce dell'angolo di 16°.27'.31" circa.

immagini virtuali, purchè le altre lenti dell'obiettivo raccolgano i raggi divergenti e li radunino verso l'oculare, potrà non parere impossibile l'oltrepassare anche i 170° ottenuti sin qui. Però la difficoltà di correggere le aberrazioni dei raggi estremi in cono di tanta larghezza deve scemarne assai l'efficacia, e il non raccogliarli può non essere un grande svantaggio. Il principio della *immersione*, uno dei più fecondi trovati dell'Amici, aiuta in miglior modo gli obbiettivi, facendovi penetrar quella luce che la riflessione totale ne avrebbe esclusa; sicchè a parità di circostanze gli obbiettivi immersi vincono sempre quelli a secco, quando pure questi abbiano la lentina mobile detta *di correzione*, che tanto vale ad appurare le immagini.

I metodi di Lister, di Goring, di Wenham, di Robinson, ec. ec. per misurare le aperture de' microscopii danno veramente un criterio esatto per determinarne la potenza, quando s'adoprinno congiuntamente a quei processi che servono a riconoscere la *centratatura* delle lenti, le aberrazioni di *sfericità* e di *cromatismo*, il *potere amplificante* la larghezza del *campo*, la *pianezza dell'immagine*, la *forza penetrante* e quella di *separazione* del sistema ottico.

Chiunque possenga un eccellente microscopio, e voglia convincersi della necessità di lasciargli tutta la sua apertura per *veder bene*, non ha che a ripetere l'osservazione fatta prima a *lente libera*, coprendo questa con una fogliolina di stagnola, nella quale siasi praticato un forellino tondo più piccolo assai del diametro dell'obbiettivo (1). Operando in tal modo le scaglie della *Podura plumbea*, i punti esagoni del *Pleurosigma angulatum*, le lineette normali ai lati della *Grammatophora subtilissima* e della *Surirella gemma*, i puntini al-

(1) Si può sperimentare così anche per immersione, e le lenti obbiettive non ne soffrono menomamente, non deponendosi cosa alcuna sulla loro superficie che possa alterarne il pulimento. Essa rimane solo in parte coperta dalla tenuissima lamina metallica ritenuta sulla montatura d'ottone con un po' di cera.

lungati della *Navicula* Amici, le strie della *Navicula affinis*, ec. ec., o scompaiono affatto o si mostrano come sfumature incerte e fallaci.

Sicchè, riducendo veramente l'apertura d' un microscopio a una sola trentina di gradi, si viene a veder chiaramente l'inesattezza dell'asserto che tanti e non più ne concorrano alla produzione delle immagini, e si conferma viemmeglio la necessità dei massimi angoli d'apertura ottenuti sin qui dai più eccellenti fra i costruttori di microscopii.