

LORENZO RESPIGHI E IL CANNOCCHIALE AD ACQUA

ANDREA GUALANDI E FABRIZIO BÒNOLI

Università di Bologna

Nel 1859 Lorenzo Respighi mise in pratica un esperimento, che utilizzava un «cannocchiale ad acqua», al fine di verificare alcuni aspetti dell'ottica ondulatoria di Fresnel.

Quasi un secolo prima, Boscovich aveva suggerito la possibilità di dedurre il rapporto tra la velocità della luce in aria e in acqua confrontando il valore noto della costante d'aberrazione annua delle stelle con quello ottenuto eseguendo le misure con un cannocchiale riempito d'acqua. L'intento di Boscovich era di confermare il sistema delle «emissioni», dal momento che l'entità del rapporto in questione era un fattore discriminante fra la teoria ondulatoria della luce e quella corpuscolare. Respighi fu quasi certamente il primo a realizzare l'esperimento pensato da Boscovich e inoltre, rispetto a coloro che lo seguirono, fu anche l'unico a effettuarlo senza compiere osservazioni annue di stelle. Egli si propose, infatti, di osservare con il «cannocchiale ad acqua» oggetti terrestri per constatare l'assenza, prevista da Fresnel, di un effetto di aberrazione della luce dovuto al moto di rotazione della Terra.

Il resoconto dell'esperimento venne pubblicato nel 1861 nella *Nota intorno l'influenza del moto dei mezzi rifrangenti sulla direzione dei raggi luminosi*. Sette anni dopo, in un'altra nota, pubblicata per l'Accademia Pontificia dei Nuovi Lincei, Respighi tornò sull'argomento, inserendosi in un dibattito sui metodi di misura indiretta della velocità della luce, nato da altri lavori in cui era stata misurata la costante d'aberrazione annua facendo uso, anche in questo caso, di telescopi ad acqua.

Nel 1861, Lorenzo Respighi, all'epoca direttore dell'Osservatorio Astronomico di Bologna, pubblicava una *Nota intorno l'influenza del moto dei mezzi rifrangenti sulla direzione dei raggi luminosi*¹, dove presentava un esperimento da lui realizzato, ma ideato quasi un secolo prima dall'abate Ruggiero Boscovich, già direttore della specola di Brera. Respighi si proponeva di suffragare alcuni risultati dell'ottica di Fresnel e il suo lavoro si colloca nel pieno sviluppo della teoria ondulatoria della luce. Il dibattito sulla natura e le proprietà della luce s'era avviato nella prima metà del Seicento e aveva visto contrapposte due scuole di pensiero, relative a due diversi sistemi, quello corpuscolare e quello ondulatorio.

Il sistema delle «emissioni», o corpuscolare, prevedeva che la luce si propagasse in linea retta, sotto forma di minuscoli e velocissimi corpuscoli, soggetti alle leggi della gravitazione. Newton inquadrò questa visione nell'ambito della gravitazione universale e questa fu l'idea dominante fino agli esperimenti dei primi anni dell'Ottocento di François Arago e Thomas Young e alla formulazione dell'ottica di Augu-

¹ L. Respighi, *Nota intorno l'influenza del moto dei mezzi rifrangenti sulla direzione dei raggi luminosi*, in *Memorie dell'Istituto delle Scienze di Bologna*, vol. II, 2a serie, pp. 279-304, sessione 11 aprile 1861.

stin Fresnel nel 1815, che segnarono il trionfo del sistema delle «ondulazioni», secondo il quale la propagazione della luce doveva avvenire attraverso onde. Quest'ultimo modello era nato con le teorie secentesche di Robert Hooke e Chrystiaan Huygens ed era supportato dalla scoperta di fenomeni quali la diffrazione e l'interferenza, di difficile interpretazione per l'ottica newtoniana. D'altra parte, uno dei grossi ostacoli concettuali del modello ondulatorio era la necessità di un mezzo «onnipresente» nel quale avvenisse la propagazione, il cosiddetto *etere*, la cui trattazione costituiva una questione a sé stante, che si sarebbe conclusa soltanto agli inizi del Novecento.

Senza entrare nel merito di questi dibattiti, che furono particolarmente vivi per più di due secoli, e rimandando alla vasta bibliografia in proposito, accenniamo solo a un risultato generale, che rappresentava un argomento su cui si confrontavano molti sostenitori delle due teorie: nel sistema ondulatorio la luce si sarebbe dovuta propagare più velocemente nell'aria che nell'acqua, contrariamente a quanto sarebbe dovuto accadere nel sistema «rivale».

Agli inizi della seconda metà dell'Ottocento, quando Respighi scriveva la sua *Nota*, l'ipotesi corpuscolare appariva ormai sorpassata e l'esperimento del cannocchiale ad acqua avrebbe dovuto fornire un'ulteriore conferma del modello ondulatorio, ormai dato per assodato dalla comunità scientifica. Respighi riprende dunque l'idea di questo esperimento, citandone l'autore, Boscovich, ma non la fonte: trattasi di *Opera pertinentia ad opticam, et astronomiam, in quinque tomos distribuita*, dove è descritto il cannocchiale ad acqua². Nelle intenzioni originali, lo strumento avrebbe dovuto dimostrare la validità del sistema delle emissioni. Ricordiamo che il lavoro di Boscovich è del 1785, ovvero si colloca nel periodo del pieno trionfo delle teorie newtoniane, tra cui proprio il modello corpuscolare, delle quali lo scienziato dalmata era aperto sostenitore.

Nel 1742, Boscovich aveva scritto un trattato sull'aberrazione annua delle stelle in cui le posizioni della scuola dei gesuiti – alla quale lui apparteneva – appaiono assumere maggiore prevalenza rispetto a quelle newtoniane³. Vi si rigetta, infatti, l'interpretazione di Bradley (che aveva attribuito l'aberrazione alla combinazione delle velocità di rivoluzione terrestre e di propagazione della luce), proponendo un moto della luce a mezza via fra propagazione istantanea e con velocità finita per salvare l'ipotesi geostatica⁴. Nel giro di 30 anni, però, non solo era tramontata defini-

² R. Boscovich, *Opusculum III: de modo determinandi discrimen velocitatis, quam habet lumen, dum percurrit diversa media, per duo telescopia dioptrica, alterum commune, alterum novi cuiusdam generis*, in *Opera pertinentia ad opticam, et astronomiam, in quinque tomos distribuita*, Remondini, Bassano 1785, vol. II, pp. 248-314.

³ Non si vuole con questo intendere che i gesuiti fossero reazionari oscurantisti (v. anche nota 5). Questo sarebbe un falso storico e un luogo comune; resta il fatto che in campo astronomico il sistema geocentrico era ancora quello «ufficiale», almeno fino al 1757 – v. testo –, e l'attività dell'Inquisizione ancora intensa.

⁴ R. Boscovich, *De Annuis Fixarum Aberrationibus Dissertatio habita in Collegio Romano Societatis Jesu*, Komarek, Roma 1742; E. Manfredi, *De annuis inerrantium stellarum aberrationibus*, Pisarri, Bologna 1729; E. Manfredi, *De novissimis circa fixorum siderum errores observationibus*, in *Commentarii dell'Istituto delle Scienze*, tomo I, L. della Volpe, Bologna 1748. V. anche in A. Gualandi, *Eustachio Manfredi e la prima conferma osservativa della teoria di Bradley dell'aberrazione annua della luce*, tesi di laurea in Astronomia, Università di Bologna, 2000/2001.

tivamente l'idea di propagazione istantanea, ma si erano affermate decisamente le teorie ottiche di Newton⁵, campione del sistema delle emissioni, che fino all'inizio dell'Ottocento apparirà il grande favorito. Già nel 1748, nella *Dissertatio de lumine*, Boscovich accettava, pur se ancora in un contesto geostatico, la descrizione bradleyana e il concetto di velocità finita di propagazione ricordando i lavori dell'astronomo bolognese Eustachio Manfredi⁶. L'incondizionata adesione di Boscovich all'ottica newtoniana è esplicita in alcuni passi dell'*Opera pertinentia* del 1785⁷, in cui non si ha più traccia dei soliti riferimenti al moto della Terra *ex hypotesi*, o, per dirla con l'autore, «in nostra Telluris quiescentis sententia»⁸. Non per nulla, dal 1757, in seguito a una decisione approvata da Benedetto XIV, i «libri omnes docentes mobilitatem Terrae et immobilitatem Solis» non venivano più inseriti nell'*Index librorum prohibitorum*⁹, istituito nel 1559 dalla Congregazione del Sant'Uffizio.

Anche la teoria dell'aberrazione è ormai accettata nel *De lumine*, tanto che proprio di questo fenomeno Boscovich pensava di servirsi. La sua idea era quella di riempire d'acqua il tubo di un normale cannocchiale e misurare l'aberrazione stellare rilevandone la differenza con quella misurata con il normale telescopio. Considerando gli effetti della diversa rifrazione nel passaggio della luce all'interno dei due mezzi, aria e acqua, si prevedeva di osservare un cambiamento della deviazione dei raggi causata dall'aberrazione, dovuto al fatto che nell'acqua essi avrebbero viaggiato più veloci e raggiunto il fuoco prima di quanto sarebbe avvenuto nell'aria, rendendo necessaria una diversa inclinazione del tubo del telescopio per intercettare l'immagine. Così, anziché uno spostamento angolare annuo di circa 20", se ne sarebbe dovuto misurare uno di 15"¹⁰. Cioè, lo spostamento totale osservato sarebbe risultato dalla somma di due termini: l'aberrazione, che possiamo chiamare «canonica»¹¹, e il ritardo indotto dal materiale posto fra esso e il fuoco dello strumento.

Pur accettando il ragionamento, obietta Respighi, bisognerebbe tuttavia rovesciarlo: nel «vigente» modello ondulatorio, essendo la luce più lenta in un mezzo più denso, ci si dovrebbe infatti aspettare non già la suddetta diminuzione, bensì un aumento a circa 27" dell'aberrazione annua, «stantechè si sono accumulati [...] tali argomenti contro il sistema delle emanazioni, che non si potrebbe [...] prestare

⁵ La Società del Gesù aveva già nel 1730 emanato un decreto in cui si permetteva l'insegnamento della fisica degli autori moderni, pur rimanendo la filosofia aristotelica *magis utilis* nelle discipline teologiche. Vedi anche in J. Casanovas, *Boscovich as Astronomer*, in *Bicentennial Commemoration of R. G. Boscovich: Proceedings*, Unicopli, Milano 1987.

⁶ R. Boscovich, *Dissertationis de lumine pars I*, typis Antonii de Rubeis, Romae 1748.

⁷ V., ad esempio, *supra*, *op. cit.* alla nota 2, *Opusculi VII paragraphus IV*, p. 437.

⁸ Ivi, p. 17.

⁹ Particolare curioso, quelli che v'erano stati inclusi fino ad allora ci rimasero! È solo nel 1835, infatti, che Copernico, Keplero e Galileo vengono tolti dall'Indice e ai lettori cattolici è data piena libertà di leggerne le teorie. V. anche in P. Maffei, *Giuseppe Settele, il suo diario e la questione galileiana*, Dell'Arquata, Foligno 1987.

¹⁰ Il rapporto delle velocità della luce in acqua e in aria è assunto pari a 3/4 nel sistema delle emissioni, 4/3 in quello delle ondulazioni.

¹¹ Per una trattazione dettagliata del fenomeno dell'aberrazione si rimanda a testi di fisica o astronomia.

fedele al medesimo senza urtare contro i principi della logica»¹². Tale valore, poi, viene portato a 36"5' dopo alcune correzioni che Respighi appone, «tirando le orecchie» al predecessore per aver mal applicato una regola di ottica geometrica.

Nel trarre questa conclusione, si ammetteva, tuttavia, l'ipotesi che il ritardo della luce avvenisse indipendentemente dal moto del mezzo rifrangente. Questo aspetto è determinante anche nella discussione della seconda parte dell'esperimento concepito da Boscovich, che è quella messa poi in pratica da Respighi.

Le osservazioni da eseguire per misurare l'aberrazione annua hanno il difetto d'essere lunghe e laboriose. Boscovich proponeva allora di sfruttare il moto di rotazione terrestre e osservare gli effetti dell'aberrazione, cosiddetta «diurna», su oggetti terrestri molto distanti. Sul fondamento teorico di questo passaggio, che ci pare di cruciale importanza e che è l'idea portante del lavoro, Respighi è alquanto sommario e si limita a riportarlo. Per capirlo è necessario ricorrere alla complessa spiegazione originale dell'Abate, che riassume con queste parole cosa si aspetta dal puntare opportunamente oggetti terrestri: «ut accidit aberrationi fixarum, cum hoc solo discrimine, quod ibi concipimus fixas immobiles, hic motus objecti terrestris corrigit aberrationem in casu velocitatis intra tubum aequalis velocitati extra ipsum, & aucta hac velocitate posteriorem per aquam, non penitus corrigit, sed relinquit eius partem quartam: si autem minuatur velocitas; eam plusquam corrigit ita, ut pariat aberrationem contrariam»¹³.

Secondo lo stesso principio che vale per l'aberrazione annua, il raggio proveniente da un oggetto terrestre impiega un lasso di tempo a giungere allo strumento, il quale nel frattempo si muove con l'osservatore (e con la Terra); poi prosegue nel suo cammino nel tubo fino all'oculare. L'inclinazione del tubo è diversa dalla direzione originaria del raggio. Anche nel suo precedente trattato, *De lumine*, Boscovich aveva schematizzato in questi termini il problema¹⁴: si potrebbe pensare a una direzione «assoluta» (raggio) e a una direzione variabile (asse del cannocchiale) con la rotazione terrestre. In altre parole ancora, se le stelle sono ferme rispetto alla Terra, il loro angolo di aberrazione si comporterà sempre allo stesso modo, cambiando solo al variare del mezzo nel telescopio. Il guaio è che la componente diurna rimane trascurabile rispetto a quella annua, per via dell'esiguo rapporto (circa 1/100) fra le velocità di rotazione e di rivoluzione del nostro pianeta. Gli oggetti terrestri, comunque, partecipano della rotazione terrestre e, cambiando mezzo nel telescopio, viene meno quella *mutua correctio* per cui attraverso l'aria l'aberrazione diurna non appare. La differenza tra gli effetti (annui) dovuti all'aria e all'acqua determina in definitiva in un contributo giornaliero, diverso dall'aber-

¹² Respighi, *Nota intorno l'influenza del moto dei mezzi rifrangenti sulla direzione dei raggi luminosi* cit., p. 281, nota 1.

¹³ «Accade come nel caso dell'aberrazione annua delle stelle fisse, con questa sola differenza: in quel caso abbiamo concepito immobili le stelle, nel nostro caso il moto dell'oggetto terrestre corregge l'effetto dell'aberrazione purché la velocità della luce all'esterno del cannocchiale sia uguale a quella all'interno; una volta che tale velocità venga aumentata per via dell'acqua, l'effetto non viene più annullato, ma ne rimane una quarta parte: se la velocità viene diminuita, tale parte similmente ad un'aberrazione opposta, va a diminuire l'effetto» (cfr. Boscovich, *Opusculum III* cit., p. 302).

¹⁴ Boscovich, *De Annis Fixarum Aberrationibus Dissertatio* cit., p. 30.

razione diurna *tout court* prima descritta, ma pur sempre derivante dalla rotazione terrestre. Detto contributo si traduce, secondo Boscovich, in un altro tipo di aberrazione sensibile, benché minima, quando si cambi il mezzo di propagazione all'interno del tubo. Non appena si introduca acqua nel tubo, il raggio (ma qui potremmo dire «corpuscolo») va soggetto a un'accelerazione nell'attraversarla, senza però che la sua (nuova) velocità si componga con quella dell'acqua (ossia di rotazione terrestre). Ciò farà sì che l'oggetto osservato descriva una piccola ellisse d'aberrazione, con un asse maggiore attorno ai $10''^{15}$.

Nell'opinione di Respighi, che si uniforma alle teorie ottiche di Fresnel e Stokes¹⁶, anche con l'acqua nel tubo non si dovrebbe evidenziare alcun moto apparente, poiché i raggi di luce partecipano al moto dell'acqua, la quale esercita un «trascinamento» della porzione di etere in essa contenuta. Torneremo comunque fra poco su questo punto.

Queste posizioni si intrecciano al dibattito sulle proprietà dell'etere, sostanza indispensabile alla teoria ondulatoria fino all'inizio del Novecento; ci si chiedeva, fra l'altro, se l'etere, e con esso le onde luminose che lo attraversavano, partecipasse in qualche modo al moto terrestre. In questo filone si inseriscono i celebri esperimenti di Michelson e Morley, del 1881, e un contributo decisivo a queste tematiche verrà dai lavori di Albert Einstein, dopo i quali si attribuirà alla luce una doppia natura – una specie di «compromesso» fra onda e corpuscolo (o «quanto», in termini più moderni) – in grado di propagarsi nel vuoto (senza bisogno di etere), con una velocità indipendente dal sistema di riferimento. Non va dimenticato peraltro il ruolo delle teorie elettromagnetiche di James C. Maxwell, pubblicate nel 1873, pochi anni dopo i lavori di Respighi di cui stiamo parlando.

S'è detto che nella teoria di Boscovich il movimento del mezzo – l'acqua – non influiva sulla direzione del cammino del raggio. Normalmente gli oggetti terrestri rimangono fissi nel campo «a cagione dell'essere il moto del cannocchiale comune anche all'oggetto osservato», ma mettendo l'acqua nel cannocchiale la loro «immobilità non può aver luogo»¹⁷, poiché si verifica una deviazione dei raggi luminosi, continuamente variabile in direzione: dunque dovremmo vedere degli spostamenti. Anticipando il risultato poi osservato da Respighi, possiamo già dire che questi spostamenti non si vedono! Allora, modificando l'ipotesi di partenza, si può ammettere che il moto del mezzo rifrangente induca una correzione (pari all'aberrazione che dovremmo osservare) sulla deviazione dei raggi che l'attraversano, dipendente dal suo moto e dalla sua natura. Ciò sarebbe d'altra parte in accordo con i postulati di Fresnel.

Ecco che l'esperienza di Boscovich diventa per Respighi una prova a favore del modello ondulatorio... purché fallisca!

Se l'effetto in questione doveva esser sembrato assai difficilmente misurabile a Boscovich nel 1785, il quale, infatti, non passò alla fase pratica dell'esperimento, Respighi pensa di poterlo misurare «verso la fine del 1859»¹⁸, quando si risolve a

¹⁵ Cfr. Respighi, *Nota cit.*, p. 292, o Boscovich, *Opusculum III cit.*, p. 311.

¹⁶ Cfr. anche E. Bellone, *Storia della fisica moderna e contemporanea*, Utet, Torino 1990, p. 248.

¹⁷ Cfr. Respighi, *Nota cit.*, p. 290.

¹⁸ Ivi, p. 293.

realizzare il cannocchiale ad acqua, con un suo contributo originale e ingegnoso, quello di simulare con l'uso di opportuni accorgimenti ottici oggetti molto lontani su un collimatore posto a... solo otto metri di distanza! Come fu concepito e realizzato da Respighi il cannocchiale ad acqua? Nella sua nota ne dà una descrizione dettagliata¹⁹, qui ci limiteremo a dare l'idea di come fosse disposto lo strumento.

Il cannocchiale del circolo meridiano di Ertel & Sohn della Specola di Bologna puntava un collimatore consistente in un tubo metallico, posto in un vano 8 metri dabbasso. A esso era «applicato un obbiettivo acromatico di 62mm di apertura». Il tubo veniva immerso in un vaso di cristallo riempito d'acqua distillata che poggiava su un altro tubo d'ottone, «finché l'obbiettivo, che ne formava la base, veniva a porsi colla superficie posteriore a contatto completo con l'acqua, rimanendo del tutto asciutta la superiore difesa dalle pareti del tubo». Il tutto era posto in «una grande e robustissima cassa di legno» e «riempivasi il vano lasciato in questa dal vaso con sabbia asciuttissima» onde garantire una «completa stabilità» all'apparato. Mancava ancora l'oggetto da osservare: esso fu ottenuto «dopo molti tentativi» e «da ultimo si pensò di rendere trasparente il fondo del vaso con una grossa lastra di vetro, cospersa di piccolissime bolle; e di collocare un lume sotto al medesimo», cosicché si vedeva attraverso il cannocchiale «una specie di cielo ad acqua cosperso di piccolissime e brillantissime stelle». Sceltane una «delle più piccole e ben decise» se ne monitoravano infine gli eventuali spostamenti.

Respighi conduce le sue osservazioni nel giugno 1860, «determinando di tre ore in tre ore la posizione apparente di una delle indicate immagini», alla ricerca di un qualche effetto dell'aberrazione dovuta al moto diurno, ovvero alla rotazione terrestre. «Trattandosi però di una questione tanto importante [...] alla fine di Ottobre vennero riprese le osservazioni [...] e si ripeterono interpolatamente [...] fin verso il 21 Dicembre²⁰.»

La situazione prospettata da Boscovich viene così ribaltata: il cannocchiale rimane ad aria e a stare in acqua è l'oggetto «distante», ma il risultato è lo stesso, la luce dalle bolle sul fondo dovrebbe subire un ritardo (o un anticipo, come avrebbe pensato Boscovich) dovuto all'attraversamento del mezzo rifrangente. La direzione del mezzo (il tubo pieno d'acqua), variando con continuità rispetto alla traslazione terrestre, dovrebbe generare un'aberrazione sensibile.

Riassumiamo gli scopi dell'esperienza, che potremmo chiamare «di Boscovich-Respighi»:

- misurare gli effetti sul moto dei raggi luminosi nel passaggio da un mezzo di propagazione a un altro, soggetto a un moto (nel nostro caso solidale a quello terrestre);
- dare conferma, in base a questi effetti, della validità del sistema ondulatorio e delle teorie di derivazione fresneliana (Boscovich avrebbe voluto dimostrare l'esatto contrario!);

¹⁹ Ivi, p. 295.

²⁰ Ivi, p. 298.

- riuscire a verificare il moto di rotazione terrestre. In realtà quest'obiettivo fu di Boscovich e non di Respighi, che si dichiarerà in un'altra sua nota del 1868, scettico «delle viste teoriche di Boscovich»²¹.

Le *grandissime difficoltà* operative nel realizzare lo strumento non sono da poco:

- mantenere l'immobilità dell'asse ottico e del «bersaglio»;
- eseguire misure di elevata precisione (dell'ordine del secondo d'arco);
- ottenere un buon ingrandimento e assieme l'acromatismo del cannocchiale;
- scegliere un oggetto adatto, sufficientemente nitido e puntiforme.

I risultati, secondo Respighi, indicano un'effettiva conferma del modello delle ondulazioni e delle formule di Fresnel per le velocità della luce nel passaggio da un mezzo all'altro, pur non mettendo in rilievo alcuno spostamento significativo dell'immagine delle bollicine nel tubo: «trovai l'immagine immobile nel campo del cannocchiale per tutto il tempo della rotazione della Terra»²². Ciò è dovuto al fatto che la velocità della luce nell'acqua risente del moto dell'acqua, trascinata dalla rotazione terrestre, e «i raggi luminosi, che si propagano in un mezzo rifrangente in moto, sono deviati di un angolo eguale a $v/V \cdot [(n^2-1)/n] \cdot \sin\omega$ »²³. In quest'ultima formula compaiono diversi parametri: le velocità della Terra e della luce (v e V), l'indice di rifrazione dell'acqua (n) e l'angolo ω formato dalle direzioni del moto dell'acqua e dei raggi luminosi. Inoltre, «la velocità di propagazione della luce nei mezzi rifrangenti in movimento si compone con una parte della velocità di questo movimento, espressa da $v \cdot (n^2-1)/n^2$ ». Tale correzione, espressa dal termine $1-1/n^2$ – il cosiddetto «coefficiente di Fresnel» – si aggiunge all'effetto del moto diurna e, contrariamente a quanto aveva ipotizzato Boscovich, va a compensarlo. Questa componente, trovata anche da Fizeau in un celebre esperimento del 1851, sarebbe stata poi interpretata correttamente solo dalla relatività einsteiniana.

Il modello ondulatorio, dicevamo, presupponeva l'esistenza di un etere che permeava tutto lo spazio, permettendo così la propagazione delle onde. Rendere ragione dei fenomeni osservati significava fare ipotesi sul comportamento della luce nell'attraversare quel mezzo o, meglio, dell'effetto del moto dell'osservatore su di esso. «La scienza della luce, tuttoché molto avanzata», doveva necessariamente far i conti, ai tempi di Respighi, con il «profondo mistero che tuttora involge la natura del mezzo nel quale questi [fenomeni ottici] si operano»²⁴.

Vediamo quali erano i termini della questione. Ammettiamo che la Terra, nel suo moto, trascini con sé l'etere circostante²⁵. Nell'attraversarlo i raggi luminosi parteciperanno dunque di tale moto (saranno cioè solidali col moto terrestre). Questo spiegherebbe perché l'osservazione di oggetti terrestri non risenta di effet-

²¹ L. Respighi, *Sulla velocità della luce dedotta dagli eclissi dei satelliti di Giove e dall'aberrazione delle stelle*. Nota del Cav. Prof. Lorenzo Respighi, in *Accademia Pontificia de' Nuovi Lincei*, Sessione III, 1 marzo 1868, p. 10.

²² *Ivi*, p. 11.

²³ *Ibidem* e Respighi, Nota cit., p. 303.

²⁴ Cfr. Respighi, Nota cit., p. 280.

²⁵ «Si l'on admnettait que notre globe imprime son mouvement à l'éther dont il est enveloppé», scrive Fresnel in una lettera ad Arago (*Annales de Chimie*, 1818).

ti d'aberrazione. Come spiegare però l'aberrazione annua della luce delle stelle? La geometria del fenomeno, come l'aveva descritta Bradley, presuppone proprio che le due velocità (della Terra e della luce) si compongano, cioè che le onde continuino a propagarsi con una velocità significativa anche «rispetto alla Terra». Supponiamo allora che l'etere sia una sostanza immobile e che la Terra lo attraversi senza alterarne le proprietà e senza spostarlo: ci imbattiamo nella situazione opposta, perché, mentre si spiega la deviazione dei raggi dovuta all'aberrazione annua, non si capisce perché anche quelli emessi da sorgenti terrestri non risentano di qualche effetto, essendo in questo caso la loro velocità indipendente dal moto dell'osservatore²⁶. Per superare questa contraddizione e nella necessità di «salvare» entrambi i fenomeni, Fresnel aveva dunque proposto un modello in cui la porzione di etere contenuta nei corpi variava a seconda delle sostanze di cui erano composti. Ciò determinava un «trascinamento parziale» delle onde nel passaggio da un mezzo all'altro: la legge della rifrazione era, cioè, modificata dalla densità dell'etere trasportato dal mezzo (l'acqua nel tubo, ad esempio) rispetto alla densità dell'etere «libero» nell'atmosfera. Ecco l'origine di quel fattore di correzione per la velocità delle onde luminose cui si è accennato, che veniva a dipendere dalla natura del mezzo attraversato, espressa dall'indice di rifrazione n .

Questa è l'interpretazione che Respighi volle avallare con le sue osservazioni prima descritte. Bisogna qui dire che, se egli non fu l'unico a mettere in opera lo strumento ideato da Boscovich (pur essendo stato forse il primo), fu il solo a utilizzarlo nel suo impiego più delicato, l'osservazione di oggetti terrestri.

Alcuni anni dopo, nel 1868, Respighi torna sull'argomento nella *Nota* cui già abbiamo accennato²⁷. Lo spunto è fornito dal dibattito sui due metodi di misura indiretta della velocità della luce: i tempi misurati per le eclissi dei satelliti di Giove, portavano a una velocità di propagazione che non coincideva con il valore dedotto dalla misura della costante d'aberrazione; in termini di tale costante, la differenza ammontava a circa $0''2$. Ci si chiedeva perciò quale fosse il metodo più attendibile e se si fosse in presenza di una fonte d'errore sistematico. Si riteneva che la determinazione del momento esatto di immersione o di emersione fosse affetta da un'incertezza che causava errore sui calcoli successivi. Grazie alle migliori tecniche di misure angolari dell'epoca, sembrava che la costante d'aberrazione fosse invece nota con ottima approssimazione, «considerando però che la differenza di un solo decimo di secondo nel valore della costante dell'aberrazione, errore o differenza forse non improbabile, porterebbe nella velocità della luce una incertezza di $1/200$ circa del suo valore»²⁸.

Respighi torna così sugli argomenti del suo scritto di sette anni prima, entrando nella diatriba fra «il Direttore dell'Osservatorio di Gottinga sig. Klinkerfues»²⁹ e

²⁶ Come aveva immaginato Boscovich, ragionando da corpuscolare e non dovendo far i conti con la presenza dell'etere. Le due ipotesi qui assunte non sono che semplificazioni: non è certo il caso di scendere nei dettagli dei vari modelli, che dovevano fare i conti con la costituzione e i meccanismi di movimento di questa sostanza.

²⁷ Respighi, *Sulla velocità della luce* cit.

²⁸ Ivi, p. 2.

²⁹ W. Klinkerfues, *Die Aberration der Fixsterne nach der Wellentheorie*, Quandt & Händel, Leipzig 1867.

«l'illustre direttore dell'Osservatorio di Utrecht sig. Hoek». Secondo il primo, le misure dell'aberrazione sarebbero state soggette a un errore dovuto al ritardo della luce nell'attraversare il materiale dell'obiettivo. Anche l'astronomo tedesco aveva, a quanto pare, realizzato un telescopio ad acqua. Tuttavia, mentre Respighi aveva accolto il suggerimento di Boscovich e aveva concentrato i propri sforzi sul moto diurno, Klinkerfues lo utilizzò per osservazioni su alcune stelle. Misurando la loro costante di aberrazione e di quanto questa differisse da quella misurata col telescopio ordinario, aveva effettivamente ravvisato una minima differenza, imputata proprio all'effetto del mezzo attraversato dalla luce nel raggiungere il fuoco dell'obiettivo. Hoek lo aveva allora confutato³⁰, sostenendo invece la presenza di un errore sistematico nelle osservazioni dei satelliti di Giove e negli ultimi valori della velocità della luce ricavati da Delambre. Nel riportarne le tesi, Respighi non si sbilancia né per Hoek («si può provare che la sua teoria manca di fondamento») né per l'altro («non per questo Klinkerfues può ritenere di avere confermata [...] la sua opinione»), tanto da considerarne il risultato «come puramente accidentale» e l'esperienza «inconcludente»³¹.

La vicenda non era finita qui: Klinkerfues aveva evidenziato delle gravi contraddizioni nell'articolo di Hoek e questi aveva ribattuto con un altro suo esperimento, basato sull'interferenza di due fasci luminosi per evidenziare la validità del modello ondulatorio e la partecipazione delle onde luminose al moto del mezzo. Neanche questo convince Respighi («non è difficile riconoscere che [...] non è abbastanza concludente per la conferma della teoria di Fresnel»³²), il quale però sostiene la validità della descrizione fresneliana.

Ricordiamo qui che alcuni anni più tardi, nel 1871, anche il grande astronomo Sir George Airy, a Greenwich, sarebbe entrato nel merito di questo dibattito. Incuriosito da questa polemica («A discussion had taken place on the Continent»³³) e dai risultati annunciati da Klinkerfues, Airy utilizzerà a sua volta un telescopio ad acqua con cui misurare la costante d'aberrazione annua di γ Draconis, già osservata da Bradley nel 1728, alla vigilia della sua scoperta dell'aberrazione («the same star by the existence and laws of Aberration were first established»³⁴). Non trovando variazioni significative rispetto ai valori ricavati con i telescopi ordinari, smentirà le conclusioni di Klinkerfues, uniformandosi così all'opinione di Respighi, pur non citandolo nel proprio articolo.

Tornando alla questione di partenza e «ammessa la verità della teoria di Fresnel», ovvero scartata l'ipotesi di un errore sistematico nella misura della costante d'aberrazione, «resta sempre a spiegarsi la differenza fra la velocità della luce da

³⁰ M. Hoek, *Sur la différence entre les valeurs de la constante d'aberration d'après Delambre et Struve*, in «Astronomische Nachrichten», n. 1669, 1867, p. 197.

³¹ Respighi, *Nota cit.*, p. 9.

³² *Ivi*, p. 10.

³³ G.B. Airy, *On a Supposed Alteration in the Amount of Astronomical Aberration of Light, Produced by the Passage of the Light Through a Considerable Thickness of Refracting Medium*, in *Proceedings of the Royal Society of London*, Taylor and Francis, London 1872, vol. 20, p. 35.

³⁴ *Ibidem*.

essa dedotta, e quella ottenuta dall'osservazione degli eclissi dei satelliti di Giove»³⁵. Riprendendo e «aggiustando» il metodo di Hoek, Respighi formula infine l'idea che effettivamente le osservazioni degli istanti di eclisse possano indurre a errori nel calcolo esatto della velocità della luce, per quanto non gli appaia ancora possibile prendere una posizione netta. Ciò non toglie, a suo avviso, la rilevanza del problema e non impedisce all'astronomo bolognese di «chiamare l'attenzione degli astronomi sopra una circostanza, la quale, non essendo presa nella dovuta considerazione, potrebbe sensibilmente contribuire a rendere inesatto il valore della velocità della luce, dedotto dagli eclissi dei satelliti di Giove»³⁶.

Viene da chiedersi (ed è una domanda che rimane aperta) come mai le misure dirette della velocità della luce e i risultati raggiunti in laboratorio attorno agli anni Cinquanta da Fizeau, Foucault, Weber-Kohlrausch e altri, che pure in quegli anni dovevano essere già ben noti, non vengano citati e presi in considerazione, se non altro per confrontarli con quelli ottenuti con questi due metodi di misura indiretta³⁷.

Riconsiderate oggi, queste dispute danno un'idea di quanto, alla vigilia della teoria elettromagnetica maxwelliana e pur in un contesto ondulatorio ormai indiscusso, ancora fossero fragili le conquiste teoriche su cui esso poggiava, sempre messe in discussione da nuove evidenze sperimentali.

³⁵ Respighi, *Sulla velocità della luce* cit., p. 13.

³⁶ Ivi, p. 17.

³⁷ Degli esperimenti francesi si può trovare un interessante e dettagliato resoconto dell'epoca in: C. Delaunay, *An Essay on the Velocity of Light*, in *Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institute*, Washington 1865.