

PUBBLICAZIONI
DELLA STAZIONE ASTRONOMICA INTERNAZIONALE DI LATITUDINI
CARLOFORTE - CAGLIARI

NUOVA SERIE

n. 183

E. PROVERBIO

**L'attività di Ruggero Boscovich
nel campo dell'ottica teorica e pratica**

Estratto da: *Atti della Fondazione Giorgio Ronchi*
Anno XLVII, N. 1 - gennaio-febbraio 1992

TIPOGRAFIA BACCINI & BALDI
FIRENZE 1992

L'attività di Ruggero Boscovich nel campo dell'ottica teorica e pratica

E. PROVERBIO (*)

1. Il periodo romano

1.1. L'interesse che il Boscovich dedicò ai problemi dell'ottica nel corso della sua lunga attività scientifica fu profondo e di lunga durata.

Nell'ambiente culturale del Collegio Romano degli anni 1735-1740, in cui Boscovich completò la sua formazione non solo religiosa, ma anche scientifica, si era consolidato un nuovo orientamento intellettuale di tendenza modernizzante, in cui l'erudizione scientifica e storico-positiva stava prendendo il sopravvento sulla scienza scolastica (1). A questo orientamento non furono estranei, Orazio Borgondio, lettore di Matematica (con geometria e astronomia), dal 1712 al 1740, e poi, Rettore dello stesso Collegio (1740-41), autore di alcune pregevoli dissertazioni riguardanti i « Principia » newtoniani (2), e Carlo Noceti (3), tra l'altro, professore di filosofia naturale (fisica), dei quali Boscovich fu, come è noto, allievo. Tale tendenza troverà terreno favorevole alla sua espansione soprattutto a seguito della elezione al soglio Pontificio del bolognese Prospero Lambertini (1740) e del rinnovamento scientifico e culturale da questi promosso negli studi del Collegio Romano.

In questo ambiente, notevolmente influenzato dalle nuove teorie newtoniane sulla gravitazione e sulla natura della luce, si maturò la formazione scientifica e culturale di Ruggiero Boscovich. È importante sottolineare che gli interessi di Boscovich risulteranno subito orientati su ambedue questi temi, che rientravano nell'ambito delle conoscenze di filosofia naturale (4), e si svilupparono anche in direzione dello studio e dello sviluppo dei metodi matematici e geometrici necessari alla interpretazione e alla applicazione delle nuove teorie astronomiche e ottiche (5).

L'approccio di Boscovich ai problemi dell'ottica si deve probabilmente collegare all'insegnamento di filosofia naturale (fisica), tenuto da Carlo No-

(*) Istituto di Astronomia e Fisica Superiore, Cagliari.

ceti nel 1730-31, ed è da pensare che Boscovich possa avere seguito tale insegnamento nell'ambito del corso triennale per il conseguimento della licenza in filosofia.

D'altra parte, proprio Carlo Noceti aveva letto al Collegio Romano nel 1729, e pubblicato nello stesso anno, un poema scientifico sopra l'arcobaleno (*De iride carmen philosophycum*, 1729). Questo poemetto sarà ristampato nel 1747 con l'aggiunta di una parte dedicata all'aurora boreale e corredato da una serie di note redatte dallo stesso Boscovich, nelle quali sono descritti e analizzati i principali esperimenti sulla luce effettuati da Newton (6). Lo stesso Boscovich, scrisse cinque « Dialoghi » pastorali che vennero recitati in occasione della presentazione all'Accademia dell'Arcadia della seconda parte del poemetto di Noceti dedicato alla aurora boreale.

Ed è proprio nel primo di questi dialoghi che abbiamo una conferma, sia pure indiretta, del fatto che Boscovich non solo fu allievo di Noceti nel corso di filosofia, ma anche in quello di teologia, e che dalla frequentazione di quest'ultimo egli formò le sue conoscenze nel campo della fisica ed in particolare dell'ottica (7).

Non è dato sapere quando gli scritti di Newton sull'ottica, ed in particolare l'« Optics » vennero conosciuti nell'ambito del Collegio Romano (8). È da presumere che le prime due edizioni latine londinesi del 1706 e del 1711 e l'edizione francese del 1720 fossero note ad un certo numero di lettori del Collegio (9). Sul tema della natura e della spiegazione delle leggi ottiche che rendono possibile il fenomeno dell'arcobaleno (iride), si era tra l'altro cimentato anche Orazio Borgondio già nel 1715 (10), e lo stesso aveva letto all'Accademia dell'Arcadia in epoca imprecisata, due egloghe italiane sulla luce e sull'aurora boreale (11).

Lo studio dei fenomeni ottici connessi con l'illuminazione di una sfera trasparente era stato affrontato da Newton negli anni 1661-1671 nelle sue « Lectiones opticae ». L'interesse per questi fenomeni era evidente, se si pensa che essi sono responsabili delle aberrazioni ottiche e cromatiche delle lenti sferiche e degli obiettivi telescopici (12). Sulla base delle esperienze sulla diversa refrangibilità della luce in un corpo sferico Newton dava poi nell'« Optics » una corretta spiegazione del fenomeno dell'iride (13). Ed è proprio in riferimento alla proposizione IX, parte II del libro primo dell'« Optics », riguardante la teoria dell'arcobaleno, che Boscovich da prova delle sue notevoli conoscenze dei problemi dell'ottica e delle sue eccezionali capacità analitiche sviluppando la teoria delle riflessioni multiple della luce all'interno di una sfera trasparente, che Newton aveva trattato sino a quattro riflessioni, per il caso generale di n riflessioni, tenendo conto della diversa refrangibilità dei raggi luminosi (14).

1.2. Si è già accennato al fatto che l'interesse di Boscovich per i problemi dell'ottica è di carattere generale, nel senso che esso affronta i molteplici aspetti di natura geometrica e fisica, spesso intrecciati, sollevati

da Newton nell'« Optics ». Partendo dalle considerazioni sulla natura fisica della luce, intesa, in senso classico, come sostanza (lumen), trattate in particolare da Newton nelle « queries », Boscovich affronterà nella dissertazione « Sulla tenuità della luce solare » (15), e nel più ampio trattato « De lumine », che contiene il primo abbozzo alla teoria energetica dei fenomeni fisici (16), una serie di temi che lo portarono in seguito a sviluppare la sua « Theoria » sulla struttura della materia e sull'azione delle « forze » nella natura (17).

D'altro canto, già da allora, lo stesso Boscovich si mostra fortemente sensibile ai problemi ottici in senso stretto, sia di natura teorica che pratica, che si rifanno all'« Optics », ma anche alle « Lectiones Opticae », e ad altre opere classiche come la « Dioptrique » di Cartesio e la « Dioptrica » di Huygens, che egli mostra di conoscere bene (18).

Il suo interesse si estende poi alle numerose applicazioni astronomiche dell'ottica, come, ad esempio, al problema della rifrazione astronomica.

Già dal 1739, pubblicando il *De novo telescopii usu*, in cui propone l'uso di un nuovo micrometro circolare da lui costruito (19), Boscovich mostra di aver ben presente l'importanza che l'accuratezza delle osservazioni astronomiche assume nella verifica delle leggi dell'ottica e della nuova astronomia.

A questi concetti, che saranno più ampiamente affrontati nel *De Observationibus astronomicis* del 1742, riguardanti l'analisi dei principi e delle ipotesi stesse su cui si fonda la nuova scienza newtoniana, e che delineano una tendenza relativista e convenzionalista nei confronti degli stessi principi fisici, fa riscontro un atteggiamento di grande attenzione per il ruolo degli strumenti di osservazione e di misura (20). L'attività tecnica, intesa come insieme di regole per la sperimentazione e verifica pratica delle leggi fisiche, assume in Boscovich un ruolo di primo piano nella concezione della conoscenza, e in tal senso è da valutare la sua intensa attività nel campo dell'ottica tecnica e pratica. Nella dissertazione *De lentibus et Thelescopicis dioptricis*, del 1755, Boscovich dà la teoria delle lenti sferiche e dei sistemi diottrici, risolvendo in modo semplice ed elegante i problemi delle aberrazioni sferiche e cromatiche nel caso di raggi paralleli e inclinati rispetto all'asse (21). Sette anni prima, in una lettera a Giovanni Battista Soardo aveva sviluppato la teoria matematica delle forme delle superfici delle lenti che convergono in un unico fuoco tutti i raggi omogenei (22).

È interessante osservare che Boscovich nel *De Lentibus et Telescopiis* dà una descrizione del micrometro obiettivo e lente bipartita, applicato da John Dollond nel 1753 ai telescopi diottrici, e accenna all'applicazione di questo micrometro, fatta da Padre Pezenas, ai telescopi riflettori (23). Una teoria di quest'ultimo tipo di micrometro, elaborata dallo stesso Boscovich, sarà pubblicata come appendice all'edizione latina del 1756, nelle *Leçon elementaires d'optique* del De La Caille (24).

2. Ricerche ed esperienze sui sistemi diottrici acromatici

2.1. Dall'agosto 1759 al dicembre 1760 Boscovich è impegnato, come è noto, in un viaggio di lavoro e di studio prima a Parigi e poi a Londra. Gli interessi e le circostanze che spinsero Boscovich ad intraprendere questo viaggio furono diverse. Fra questi c'era certamente il desiderio di allacciare più strette relazioni con l'ambiente scientifico parigino e londinese. Boscovich era peraltro già in relazione epistolare con lo scienziato Dortus de Mairan, autore di un celebre trattato sull'aurora boreale (25), argomento del quale egli si era ampiamente occupato.

Nel campo dell'ottica aveva suscitato un grande interesse in quegli anni il lavoro di John Dollond, pubblicato nel 1758, e i risultati da lui conseguiti nella realizzazione di obiettivi acromatici (26). Questi risultati erano stati preceduti dal lavoro di Eulero, apparso negli Atti dell'Accademia di Berlino nel 1747, in cui veniva ipotizzata la possibilità di correggere gli effetti della aberrazione cromatica (27), e da una lettera di Klingenstierna a Dollond (28), che portò quest'ultimo ad effettuare le prime esperienze con prismi di differente indice di rifrazione, e a correggere gli effetti della dispersione dei raggi luminosi.

Stimolato da questi lavori e dalle considerazioni di Klingenstierna il grande ottico parigino A. C. Clairaut venne elaborando nel 1756 e nel 1757 una teoria ottica completa degli obiettivi acromatici pubblicata in due Memorie della *Academie Royale* nel 1762 (29). Si può ritenere che Boscovich venisse a conoscenza dell'esistenza di questi lavori nel corso della sua permanenza a Parigi (agosto 1759-maggio 1760), ma quasi certamente egli poté conoscerli direttamente solo dopo la loro pubblicazione (30). Così come è altrettanto probabile che Boscovich venisse a conoscenza della teoria degli obiettivi acromatici elaborata da Klingenstierna, inviata alla Royal Society nell'estate del 1760 ma pubblicata solo nel 1761 (31), solo nel corso o dopo la sua permanenza a Vienna (gennaio-marzo 1763), alla fine del suo lungo peregrinaggio che lo avrebbe portato, dopo aver lasciato Londra, fino a Costantinopoli (32).

Resta il fatto che così come a Parigi, anche a Londra, Boscovich conobbe personalmente molti astronomi e ottici professionisti, oltre che i membri della Royal Society di cui divenne in quell'occasione socio (33). In particolare egli fece conoscenza con lo stesso John Dolland (34), e si presume anche con Robert Smith (35), autore di un famoso trattato di ottica stampato nel 1738 (36). Dalle lettere a noi pervenute inviate da Londra al fratello Bartolomeo, abbiamo poi una conferma che ancora nell'estate del 1760 non era stato reso noto alla comunità scientifica alcun lavoro teorico sui sistemi acromatici. Tuttavia Boscovich mostrava già allora una forte esigenza di dare una risposta teorica alla realizzazione dei primi obiettivi acromatici costituiti da due lenti ottenuti dal Dollond per

via puramente empirica, ed una notevole intuizione nel comprendere che la causa dell'acromatismo fosse dovuta alla « differenza della rifrazione », come egli stesso afferma in una lettera al fratello Bartolomeo (37).

Nel corso della sua permanenza a Londra Boscovich assistette poi a numerose esperienze sull'acromatismo compiute con prismi nel laboratorio di James Short. Queste esperienze lo spinsero ancora di più a ritenere possibile una soluzione matematica semplice del problema (38), e addirittura a prospettare l'eventualità di realizzare obiettivi acromatici anche in Italia (39). In quella occasione Boscovich ebbe modo, tra l'altro, di esporre a Short e a Dollond la necessità di correggere un difetto del micrometro obiettivo a lente bipartita applicato ai riflettori, per tener conto dell'errore di parallasse dell'occhio dell'osservatore (40), e di acquistare un cannocchiale acromatico dollondiano di tre piedi di focale ed alcuni prismetti di vetro *flint* e *crown* per esperienze sulla riduzione degli effetti cromatici (41).

2.2. Boscovich lasciò Dover, nel dicembre 1760, per Venezia, in cui avrebbe dovuto assistere all'osservazione del passaggio di Venere sul disco solare del 6 giugno 1761, ma l'osservazione non poté essere effettuata a causa del cattivo tempo (42).

Da lì egli partì alla fine di giugno diretto a Costantinopoli, e per circa diciotto mesi, pure lontano dall'ambiente scientifico europeo, ebbe modo, tra l'altro, di iniziare la stesura delle note della terza parte, dedicata alla ottica newtoniana, del poema a cui Benedetto Stay da più di dieci anni stava lavorando (43).

È lecito inoltre supporre che in questo lungo periodo egli avesse avuto modo di riflettere sui numerosi e irrisolti problemi connessi con la realizzazione di obiettivi acromatici. Questi problemi riguardavano sostanzialmente:

i) la necessità di disporre di vetro ottico comune (cristallo di Venezia, di Boemia, vetro *crown* inglese) e di vetro al piombo (*flint* inglese o *strass* tedesco) di ottima qualità in quanto a trasparenza e omogeneità. È noto che soprattutto il vetro al piombo era difficilissimo da produrre e da reperire fuori dall'Inghilterra (44);

ii) la difficoltà a misurare l'indice di rifrazione del vetro comune e del vetro al piombo, a lavorare superfici perfettamente sferiche ed a verificare la perfetta sfericità ed il raggio di curvatura delle superfici delle lenti;

iii) ed infine la necessità di disporre di una teoria dei sistemi diottrici liberi dagli errori di sfericità e di cromatismo, che, come abbiamo visto, alla fine del 1760 non era ancora nota nell'ambiente scientifico.

Non è quindi sorprendente che subito dopo il suo arrivo a Vienna, di ritorno da Costantinopoli, Boscovich avviasse una serie di esperimenti

per la produzione di vetro al piombo assieme al collega Joseph Liesganig (45), e che a questo problema dedicasse in seguito tante attenzioni, come è dimostrato dalla lunga collaborazione con lo scienziato lucchese Giovan Stefano Conti, allo scopo di arrivare alla produzione di vetro *flint* (46).

La collaborazione di Boscovich con Stefano Conti si accompagnò al periodo forse più importante e produttivo dell'attività del grande scienziato dalmata nel campo dell'ottica teorica e pratica.

Si può pensare che all'epoca del suo arrivo a Vienna Boscovich venisse a conoscenza dei lavori di Clairaut (si veda la nota 29), e che egli decidesse di mettere per iscritto le riflessioni che una tale lettura doveva avergli stimolato.

Una prima memoria, nella quale egli mostra di avere trovato una soluzione più semplice di quella prospettata da Clairaut nel suo primo lavoro, sarà inviata a quest'ultimo presumibilmente nell'aprile del 1763 (47), e pubblicata nel *Journal des Sçavans* (48). Nello stesso periodo Boscovich lavora ad una « dissertazione », della quale con molta modestia egli dice che « tutte le cose essenziali sono di Clairaut » (49). In questa « dissertazione », inviata per la pubblicazione all'Accademia di Bologna alla fine del 1763 (50), Boscovich dà una teoria completa degli errori di aberrazione sferica e dovuti allo spessore delle lenti (51), e degli errori che derivano dalla diversa refrangibilità dei raggi (52) in un sistema ottico costituito da due lenti. In questa stessa dissertazione Boscovich fornisce inoltre una soluzione di tipo quantitativo ai problemi della misura dell'indice di rifrazione e della dispersione del raggio di curvatura delle superfici sferiche delle lenti. I metodi suggeriti dal Clairaut per la soluzione dei problemi rifrattometrici erano infatti ancora insoddisfacenti e di natura semi-quantitativa. Il contributo di Boscovich allo sviluppo della rifrattometria e della sferometria moderne e i metodi di lavoro da lui impiegati nelle sue esperienze risultano invece del tutto originali in quanto portano a misure quantitative, sia pure con un margine di incertezza ancora considerevole (53). Notevole, anche se non privo di inconvenienti, l'uso del primo vitrometro ad acqua costruito dal Boscovich (54).

Maggiore accuratezza nella misure ottenne il Boscovich con l'uso di un nuovo strumento da lui costruito, basato sull'impiego del prisma curvilineo composto ideato dal P. Abat, ottico di Marsiglia (55). Su questo stesso principio Boscovich progetterà infine, e farà costruire nel 1773 dal celebre ottico veneziano Lorenzo Selva, il suo vitrometro a prisma composto, che verrà usato, sotto nomi diversi e con varie manipolazioni, per molti decenni (56).

Con l'uso del vitrometro ad acqua, del prisma rettilineo, del prisma ad angolo variabile, e del prisma curvilineo composto (a partire dal luglio 1764), Boscovich effettuò, dall'agosto 1763 alla metà del 1766, una serie di misure e di esperienze che lo portarono ad importanti conclusioni. In

particolare egli riuscì con accurate esperienze, che erano precluse sia a Clairaut che a D'Alambert, a studiare accuratamente il fenomeno cosiddetto di *inversione dello spettro solare* e a dimostrare l'impossibilità di eliminare interamente l'aberrazione cromatica con un obiettivo costituito da due sole lenti (57). Queste osservazioni portarono Boscovich ad elaborare la sua teoria dei sistemi diottrici acromatici costituiti da tre lenti (58). È interessante sottolineare che già agli inizi del 1764 Boscovich era convinto della necessità di realizzare obiettivi a tre lenti per correggere gli effetti del cosiddetto « spettro residuo » (59). Lo stesso Lalande in una lettera del 15 febbraio 1766, si complimentava di questo nuovo « *methode pour les lunettes achromatiques* », e confessava a Boscovich che ancora nessuno aveva saputo realizzare obiettivi di tre sostanze diverse (60). E a quanto pare, lo stesso D'Alambert, pur avendo in seguito calcolato obiettivi acromatici costituiti da tre lenti, non era convinto della necessità che queste fossero costituite da tre diverse sostanze (61).

Alla convinzione che due sole sostanze non fossero in grado di eliminare rigorosamente i colori dello spettro Boscovich era giunto in seguito all'osservazione dell'inversione dello spettro e della scoperta che le differenti parti dello spettro solare non erano proporzionali alla lunghezza dello stesso spettro (62). Questi stessi motivi devono averlo convinto che anche gli oculari fossero responsabili degli errori di acromatismo presenti in un cannocchiale. Egli aveva constatato che Clairaut nelle sue memorie non aveva tenuto conto di questo effetto, e che Klingenstierna pure avendone tenuto conto non aveva invece corretto negli oculari gli errori delle aberrazioni sferiche (63). In un primo tempo egli tentò di eliminare l'effetto cromatico degli oculari con una compensazione della correzione dell'obiettivo, poiché riteneva che non si potessero « fare li oculari di due vetri perché devono essere di foco corto, e il cavo lo allunga troppo » (64). Ma subito dopo avere completato la sua prima « Dissertazione » (dicembre 1763), egli si orientò verso la realizzazione di oculari acromatici costituiti da due vetri, come gli obiettivi (65). In tal senso egli forniva a Giovan Stefano Conti, già all'inizio del 1764, la teoria per la realizzazione di oculari costituiti da due o tre lenti (66).

2.3. La conoscenza di ottica tecnica e di teoria ottica da lui sviluppate, il Boscovich metterà a frutto nel corso della lunga collaborazione attuata con Stefano Conti allo scopo di realizzare obiettivi e telescopi acromatici. Questa collaborazione, iniziata per via epistolare sin dal giugno 1761 (67), ancora prima della partenza di Boscovich per Costantinopoli, lo coinvolgerà praticamente dall'epoca della sua permanenza a Lucca (dal 23-24 giugno al 10 luglio 1763 circa), fino al momento del suo trasferimento in Francia e anche in seguito (68), dopo le dolorose vicende che lo avevano privato della direzione dell'Osservatorio di Brera (69).

Si è già detto dell'attività di Boscovich nel campo della tecnologia

ottica dopo il suo ritorno dal viaggio a Costantinopoli. In effetti questo viaggio, durante il quale venne gravemente minacciata la salute del grande scienziato (70), impedì praticamente a Boscovich per circa due anni di occuparsi con la dovuta concentrazione della teoria ottica, e soprattutto di svolgere tutte quelle attività di carattere sperimentale nel campo dell'ottica, che Dollond a Londra e Clairaut a Parigi andavano sviluppando con grande fervore. Dopo il suo rientro a Vienna, i problemi dell'ottica pratica e teorica costituirono tuttavia l'elemento centrale dell'attività scientifica di Boscovich. Ne è testimonianza, come si è visto, l'intensa attività da lui svolta in tale campo prima a Vienna, durante la permanenza a Lucca, ospite di Stefano Conti, e a Bassano, ove curò la ristampa della sua «*Theoria*» (71), e infine a Roma, dal novembre 1773 alla seconda metà di gennaio dell'anno successivo. Numerosissimi attestati di questa attività si hanno nella frequente corrispondenza che il Boscovich intrattene con vari corrispondenti, in particolare con Stefano Conti e col francese Clairaut (72). E non è certamente un fatto causale che, allorché Boscovich venne chiamato, agli inizi del 1764, a ricoprire la cattedra di matematica presso l'Università di Pavia, l'argomento della sua prolusione inaugurale fosse interamente dedicato alle nuove questioni dell'ottica (73).

3. L'attività di Boscovich nel campo dell'ottica dal 1774 al 1786

3.1. Gli interessi di Boscovich per i problemi legati alla realizzazione di obiettivi astronomici corretti per le aberrazioni sferiche e cromatiche, come si è detto, non si limitarono solo al campo teorico. È importante osservare come i suoi rapporti con gli ottici pratici del tempo fossero in qualche caso di un livello tale da dare luogo a feconde collaborazioni, che permisero a Boscovich di mettere in pratica e sperimentare le sue teorie e di realizzare alcuni dei suoi strumenti più interessanti. La collaborazione con Stefano Conti portò, come si è visto, a risultati pratici notevoli (74), e stimolò molte riflessioni di Boscovich in campo teorico (75). Boscovich fu peraltro in relazione con numerosi ottici milanesi e veneziani, tra i quali Lorenzo Selva, che realizzò nel 1773 il suo famoso vitrometro a prisma variabile per la determinazione della qualità rifrattiva (indice di rifrazione) e dispersiva del vetro comune e del vetro al piombo (76).

È poi naturale che l'interesse del Boscovich per i problemi dell'ottica seguitasse a manifestarsi durante il periodo non breve della sua permanenza in Francia (ottobre 1773 - settembre 1782), ove egli venne chiamato proprio in qualità di direttore di Ottica del Dipartimento della Marina. L'attività scientifica che Boscovich svolse durante la sua permanenza in Francia è conosciuta solo a grandi linee: così anche nel campo dell'ottica, sono note le vicende legate al suo progetto per la realizzazione di un nuovo micrometro obiettivo a grande campo (megametro) ed

alla controversia con l'Abate Rochon per la priorità di questa scoperta (77). Sono invece meno note o ancora sconosciute le esperienze ottiche che Boscovich dovette presumibilmente condurre nel corso della lunga permanenza in terra francese. Di questa attività a carattere sperimentale vi è infatti solo qualche debole traccia nei Tomi I e II della sua *Opera Pertinentia*, quasi completamente dedicata all'ottica e in buona parte redatta in quel periodo. L'opuscolo sulla teoria degli oculari acromatici, deve essere stato scritto proprio in quegli anni (78), così come nello stesso periodo egli dovette perfezionare la messa a punto del suo vitrometro ad angolo variabile, e ideare un nuovo vitrometro cilindrico ad acqua, di cui probabilmente iniziò la costruzione senza poterla condurre a termine (79).

È interessante il fatto che Boscovich avesse elaborato già nel 1766 una teoria degli specchi sferici, che doveva servire al Conti per la realizzazione di un obiettivo riflettore di metallo (80), e che avesse addirittura pensato alla realizzazione di un grande specchio a tasselli (81), ma queste idee non ebbero poi, a quanto se ne sa, altri sviluppi.

Al periodo parigino è ancora da attribuire la elaborazione della teoria di un obiettivo cosiddetto iconantidiptico, in grado cioè di fornire di uno stesso oggetto due immagini, l'una diritta e l'altra capovolta. Questo obiettivo era stato proposto dall'astronomo parigino Jeurat al fine di evitare l'uso dei fili fissi nei micrometri degli strumenti meridiani, ma le considerazioni teoriche di Boscovich mostrarono la poca affidabilità e accuratezza di un tale obiettivo (82).

Nelle esperienze per la misura delle qualità rifrattive e dispersive delle lenti con l'impiego del prisma variabile e del vitrometro si richiedeva che la direzione del fascio di luce solare si conservasse fissa per un periodo di tempo sufficientemente lungo. Nel 1759, all'epoca del viaggio in Inghilterra, Boscovich aveva fatto costruire un semplice congegno (eliostato) per ottenere questo effetto (83), che aveva poi progettato di nuovo nel 1763 (84). Un miglioramento definitivo del suo originale eliostato Boscovich lo progettò presumibilmente nel 1773, all'epoca della realizzazione del vitrometro a prisma variabile (85).

3.2. È sintomatico che Boscovich concludesse la sua lunga e rilevante attività scientifica, impegnato attorno ad un problema centrale dell'ottica newtoniana: il problema della natura della luce. Già nel 1766 Boscovich aveva avuto modo di ideare un esperimento basato sull'uso di un telescopio riempito di acqua per la misura dell'aberrazione astronomica delle stelle.

Egli si riprometteva infatti di dimostrare che l'aberrazione astronomica misurata per mezzo di un tale telescopio doveva risultare minore di quella determinata attraverso un telescopio normale, e quindi dedurre che la velocità di propagazione della luce nell'acqua era maggiore di quella

della luce nel vuoto e nell'aria. Tale conclusione avrebbe dimostrato la validità della teoria corpuscolare di propagazione della luce prospettata da Newton, di cui Boscovich era sostenitore.

Le vicende successive impedirono a Boscovich di realizzare un tale progetto. Ma questa idea verrà ripresa dal grande scienziato all'epoca della stampa della sua opera maggiore a Bassano, nella seconda metà del 1783, dopo il suo rientro in Italia.

In quella circostanza Boscovich si rese conto della possibilità di realizzare questa esperienza non più osservando oggetti stellari, bensì oggetti terrestri. La realizzazione di questa famosa esperienza condotta attraverso la stretta collaborazione degli astronomi dell'osservatorio di Brera Angelo de Cesaris e Francesco Reggio impegnò gli ultimi anni della vita di Boscovich, praticamente dall'estate del 1784, fino all'estate del 1786 (86). È noto che nel settembre dello stesso anno si manifestarono i primi sintomi della grave malattia depressiva che affliggerà Boscovich fino alla morte avvenuta nel febbraio del 1787.

L'analisi delle opere e della copiosa corrispondenza scientifica di Boscovich, purtroppo ancora in gran parte accessibile agli studiosi solo in forma manoscritta, mette in evidenza il ruolo rilevante che i problemi di ottica, di natura teorica e tecnica ma anche pratica, ebbero nella attività scientifica di questo eminente scienziato. Il suo contributo allo sviluppo dell'ottica non è stato tuttavia ancora pienamente valorizzato. Se i biografati a lui contemporanei si soffermeranno forse in modo non del tutto adeguato sui suoi lavori e sull'attività da lui svolta nel campo dell'ottica (87), con l'andar del tempo i suoi meriti di ottico teorico e le sue scoperte e innovazioni di ottica strumentale sono stati spesso dimenticati (88).

È da augurarsi che una ricerca più approfondita e sistematica, in particolare sui suoi lavori teorici di diottrica, contribuisca a mettere meglio in risalto l'originalità di questi lavori e il rilievo che essi ebbero nel dibattito scientifico della seconda metà del settecento.

NOTE BIBLIOGRAFICHE

(1) Cfr. R. G. VILLOSLADA, *Storia del Collegio Romano*, Romae, 238-239 (1954).

(2) Su ORAZIO BORGONDIO (1674-1711) si veda: *Dizion. Biogr. degli Ital.* (DBI), voce di P. Casini, vol. 12, 777-779); e C. SOMMERVOGEL, *Bibliothèque de la Compagnie de Jésus*, Bruxelles-Paris, I, 1804-07 (1990). Secondo Sommervogel alcune « dissertazioni » attribuite a Borgondio sarebbero in realtà di R. Boscovich.

(3) Carlo Noceti (1697-1759) fu professore di Retorica (1723-27), Logica (1729-30), Filosofia Naturale (Fisica) (1730-31), Metafisica (1731-32) e Teologia Scolastica (1733-42), nonché Prefetto degli studi (1757-59) presso il Collegio Romano (cfr. R. G. VILLOSLADA, *cit.* nella nota 1). Si veda anche: SOMMERVOGEL, *cit.*, V, 1784-87.

(4) Sullo sviluppo delle idee di Ruggero Boscovich, che lo porteranno alla piena accettazione delle teorie newtoniane si veda: P. CASINI, *Ottica, astronomia, relatività: Boscovich a Roma, 1738-1748*, *Rivista di Filosofia*, 18, 354-81 (1990).

(5) Un contributo allo studio della formazione e della scelta del metodo matematico di Boscovich è dato in: I. MARTINOVIC, *Boskovic's choice of method at the beginning of his mathematical career*, *Dijalektika*, 3-4, 57-71 (1988).

(6) Cfr. *Caroli Noceti Societate Jesus de Iride et Aurora Boreale Carmina, etc., cum notis Josephi Rogerii Boscovich ex eadem Societate*, Romae (1747). Una recensione della prima parte di questo opuscolo e delle note del Boscovich apparve nel *Giornale de Letterati*, Roma, 27-40 (1748).

(7) I cinque *Dialoghi pastorali sull'Aurora Boreale*, svolti dal Boscovich, sono apparsi nel *Giornale de Letterati*, Roma, 192-202, 264-275, 293-302, 329-336, 363-368 (1748). Nel primo dialogo gli editori del *Giornale* attestano che Boscovich fu « già scolaro in Filosofia e in Teologia del medesimo P. Noceti ». Ma è dello stesso Boscovich l'affermazione che Noceti « mi diè delle scienze il primo latte », e che « per l'erta via che alla sublime sapienza ne mena mi guidò sempre, mi resse, mi incoraggi, onde non discostandomi quasi mai dal fianco suo, di quante cose, quanto meravigliose e sublimi ebbi occasione di apprendere ». (Cfr. *Giornale*, cit., 193).

(8) Oltre all'« Optics » è presumibile che anche l'edizione latina della « Lectiones Opticae », pubblicata a Londra nel 1719 fosse conosciuta nell'ambito del Collegio Romano.

(9) Nel *De lentibus et telescopiis*, del 1775, (cfr. nota 21, 53) Boscovich fa riferimento ad una edizione latina e ad una francese dell'« Optics », senza specificare di quali edizioni si tratti. È certo che egli conoscesse l'edizione patavina dell'« Optics » e delle « Lectiones Opticae » del 1749.

(10) Cfr. *A.M.D.G. Iridis explicatio Physico-mathematica*, Romae (1715), cit. in SOMMERVOGEL, I, 1804.

(11) Cfr. SOMMERVOGEL, cit., nella nota 1, I, 1807.

(12) La teoria di un fascio di raggi paralleli all'asse attraverso una sfera trasparente è data da Newton nelle « Lectiones Opticae », Pars Prima, Sectio Tertia, Propositio XXXI; mentre nelle proposizioni XXXII, XXXIII e XXXIV è data invece la teoria diottrica nel caso che i raggi non siano paralleli. Nelle proposizioni XXXV e XXXVI vengono risolti i problemi della massima o minima inclinazione sull'asse dei raggi emergenti da una sfera dopo una, due e anche tre riflessioni. Nella Propositio XXXVII viene infine elaborata la teoria delle deviazioni dovuta alla diversa rifrazione dei raggi attraverso una superficie sferica, e cioè la teoria della aberrazione cromatica delle lenti sferiche. In questa e nelle note successive il riferimento è all'edizione patavina dell'« Optics » e delle « Lectiones Opticae », tratta dalla edizione londinese del 1729 (cfr. I. NEWTON, *Optices libri tres/accedunt ejusdem Lectiones Opticae*, Patavii (1749)).

(13) Cfr. « Optics », cit. nella nota precedente, Lib. I, Pars II, Propositio IX, 62-65.

(14) Cfr. « Dimostrazione di un passo spettante all'angolo massimo e minimo dell'Iride, etc. », del P. Giuseppe Ruggero Boscovich della Compagnia di Gesù, *Giornale de Letterati*, 165-193 (1747).

(15) Cfr. « Dissertazione sulla tenuità della Luce Solare », del P. Giuseppe Ruggero Boscovich Matematico del Collegio Romano, *Giornale de Letterati*, 28-33 (1747).

(16) Cfr. *Dissertatio de Lumine*, Pars Prima publice propugnata in Seminario Romano, etc., anno 1748, Romae, Typis A. de Rubeis; *Dissertatio de Lumine*, Pars Secunda publice propugnata a Patribus Societate Jesu in Collegio Romano, anno 1748, Romae, ex Typographia Komarek. Su questa opera di Boscovich si veda: V. RONCHI, *Il de Lumine di Ruggero Boscovich*, Actes du Symp. Inter. R. J. Boscovich 1961, Beograd, Zagreb, Ljubiana, 157-162 (1962).

(17) L'opera fisica e filosofica più significativa del Boscovich: *Philosophiae naturalis theoria redacta ad unicam legem virium in natura existentium*, venne pubblicata a Vienna nel 1758, a cui seguì una riedizione del 1759. Una Nuova edizione dell'opera venne stampata a Venezia nel 1763.

(18) Non è dato sapere quali edizioni delle opere di Descartes e Huygens fossero conosciute da Boscovich. Si presume edizioni pubblicate nel XVIII secolo (cfr. C. HUGENII, *Dioptrica*, Lugduni (1703)). Riferimenti alla *Dioptrique* di Descartes e alla *Dioptrica* sono nell'opera di Boscovich cit. nella nota 21, 51.

(19) Cfr. *De novo telescopii usu ad objecta Coelestia determinanda Dissertatio*, Romae, ex Typographia Komarek (1739). L'originalità del micrometro circolare rea-

lizzato da Boscovich è attestata in uno scritto del Barone de Zach, il quale a proposito di tale micrometro afferma: «le premier qui en ait fait mention est le P. Boscovich dans une dissertation publiée en 1739 à Rome».

(20) Nel *De Observationibus astronomices et quo pertingat earundem certitudo Dissertatio*, Romae (1742), Boscovich affronta temi di grande rilievo riguardo il ruolo degli strumenti di osservazione ai fini della verifica di una ipotesi scientifica. Accanto alla consapevolezza che le applicazioni dell'ottica, con la realizzazione di lenti e telescopi corretti da aberrazioni geometriche e cromatiche, sono essenziali al processo di verifica delle teorie fisiche, Boscovich sembra associare in un certo senso gli strumenti stessi alle verifiche empiriche delle leggi della natura che da questi dipendono, ipotizzando l'esistenza di un nesso assai stretto tra prassi e teoria.

(21) Cfr. *De Lentibus et telescopii dissertatio*, autore P. Rogerio Boscovich S.J., Romae (1755).

(22) *Ibid.*, 4.

(23) *Ibid.*, 50.

(24) Cfr. *Brevis theoria micrometri obiectivi*, a P.R.J. Boscovich S.J. in: LA CAILLE, *Lectiones elementares opticae*, Paris (1755). La prima edizione in francese di quest'opera risale al 1750. Il trattato di Boscovich venne ristampato a Vienna nel 1757 (*Brevis theoria micrometri obiectivi* in R.P.R.J. Boscovich, Viennae, J.T. de Trattern (1757)).

(25) Cfr. *Traite physique et historique de l'aurore boreale*, per M. De Mairan, Paris (1733). Una seconda edizione più ampia del trattato sotto il titolo: *Traité de l'aurore boréale*, venne pubblicata a Parigi nel 1754.

(26) Cfr. John Dollond rese noti i risultati delle sue esperienze nel lavoro: *An Account of some Experiment concerning the different Refrangibility of right*, Philos. Trans., 50, 733-743 (1758).

(27) Cfr. L. EULER, *Mem. Acad. Berlin*, 274-296 (1747).

(28) La lettera a Dollond con cui Klingenstierna, professore di matematica a Upsala, mostra la possibilità di correggere gli effetti del cromatismo è pubblicata in: I. KELLY, *The life of John Dollond, etc.*, terza ediz., 68-70 (1808). Sulle vicende che precedettero e seguirono la realizzazione di obiettivi acromatici si veda il volume: HENRY C. KING, *The History of the Telescope*, New York, 144-150 (1955).

(29) Cfr. *Memoire sur les moyens de perfectionner les Lunettes d'approche*, per M. CLAIRAUT, Histoire de l'Acad. R. des Sciences (année 1756), Paris, 380-437 (1762), *Second Memoire sur les moyens der perfectionner les Lunettes d'approche, etc.*, Histoire de l'Acad. R. des Sciences (année 1757), Paris, 524-550.

(30) È assai probabile che Boscovich potesse aver preso visione dei due lavori del Clairaut dopo il suo arrivo a Vienna (fine dicembre 1762), proveniente da Costantinopoli. In una lettera all'amico Giovan Stefano Conti, da Vienna, in data 3 aprile 1763, Boscovich scriveva infatti: «Porterò anche meco una dissertazione, che attualmente lavoro sugli telescopi Dollondiani, nella quale tutte le cose essenziali sono di Clairaut messe né tomi dell'Accademia del 1756, e 1757, benché lette assai dopo». (Cfr. R. G. BOSCOVICH, *Lettere a Giovan Stefano Conti*, (a cura di G. Arrighi), Firenze, 90 (1980)).

(31) La memoria di S. Klingenstierna venne letta alla Royal Society il 2 aprile 1761 e pubblicata nelle Philos. Trans., 51, 944-977 (1761) con il titolo: *De aberrationes Luminis, in Superficiebus et Lentibus Sphaerices refractorum*. Una traduzione di questa memoria apparve sul *Journal des Sçavans*, 664-678, ottobre 1762, a cura del Clairaut. Boscovich, in una lettera da Roma in data 10 dicembre 1763 a Giovan Stefano Conti scrive: «Credo, che Clingenstierna in una di quelle dissertazioni, che vidi costi alla sfuggita introduca anche l'oculare, etc.». Sembra evidente che egli si riferisca con «costi» al suo recente soggiorno a Lucca (dal 23-24 giugno al 10 luglio circa) presso l'amico. Ed è in quella circostanza che Boscovich deve avere letto «alla sfuggita» il lavoro di Klingenstierna.

È noto che Boscovich dopo aver lasciato Londra nel dicembre del 1760 intraprende il suo lungo viaggio che lo portò (con una sosta a Venezia dall'aprile al giugno 1761 circa) fino a Costantinopoli, in cui soggiornò dalla metà del dicembre fino al maggio 1762. Boscovich ci ha lasciato una interessante testimonianza delle vicende legate al viaggio di ritorno fino alla Polonia (cfr. *Giornale di viaggio da Costantinopoli in Polonia*, dell'Abate R. G. Boscovich, Bassano, (1784)).

(33) Sul soggiorno di Boscovich in Inghilterra si veda: I. TORBARINA, *Boscovich in England*, Actes, cit. nella nota 16, 255-262.

(34) In una lettera da Londra al fratello Bartolomeo in data 21 luglio 1760 (di cui esiste una trascrizione presso l'Istituto di Storia delle Scienze di Zagabria gentilmente inviata da Z. Dadić) Boscovich racconta: «Andai due miglia grosse di qua dentro Londra, dove vi era da M. Short della gente, e tra questi M. Maskeline e il Dr. Bevis, e vi sopravvenne ancora Milord Morton. Si fecero varie osservazioni col micrometro oggettivo, e vi fu ancora il Dollond, che ebbi ben piacere di conoscere».

(35) Da una lettera da Londra in data 26 giugno 1760 al fratello Bartolomeo (cfr. vedi nota precedente) veniamo a sapere che Boscovich conobbe a Londra un giovane studente del collegio della SS.ma Trinità, «di cui è rettore M. Smith uomo celebre per l'ottica», il quale, «mi disse che ero molto desiderato e aspettato là da professori». Non sappiamo però se effettivamente Boscovich accettò questo invito e fece conoscenza diretto con Robert Smith.

(36) Cfr. *A Compleat system of opticks*, etc., by Robert Smith, Cambridge (1738). Padre Esprit Pezenas pubblicò una traduzione dell'opera di Smith con considerevoli aggiunte sulle nuove scoperte fatte dopo la pubblicazione (cfr. *Cours Complète d'Optique*, traduit de l'anglois de Robert Smith, etc., per L. P(ezenas), Avignon (1767), Tome Premier et Tome Second). Questa traduzione in francese era certamente conosciuta da Boscovich (cfr. lettera di Boscovich a Stefano Conti in data 12 maggio 1767, *op. cit.*, nella nota 30, 226-227).

(37) Nella lettera *cit.* al fratello Bartolomeo in data 26 giugno 1760 (vedi nota 35) Boscovich scrive: «Ho dimandato se per la scoperta de colori cvitati coll'adoperar due vetri di differente natura, un verdastro e un bianco, vi era ancora alcuna teoria, e m'anno detto di no, ma la sola esperienza: la cosa è mirabile, perché il colore del vetro può far poco, è assai chiaro, e gli oggetti si vedono luminosi, e naturali col cannocchiale: conviene che la differenza della refrazione faccia qualche cosa (la sottilineatura è mia) ma ora non ho tempo da esaminar questo punto».

(38) Nella lettera al fratello in data 21 luglio (cit. nella nota 34) Boscovich scrive: «Mi fu detto, che bastava trovare, in che proporzioni stanno l'ampiezza degli spettri fatti coi prismi di due vetri differenti, ma uguali tra loro, e presentati nello stesso angolo, e fare un oggettivo cavo, e l'altro convesso di fochi, che stiamo nella stessa proporzione; ma non ho ancora ben esaminata la cosa, che per altro è facile con un poco di Geometria elementare: io pò ho scarsezza somma di tempo, etc.».

(39) Nella stessa lettera *cit.* nella nota precedente si legge, a proposito degli obiettivi acromatici del Dollond: «Anzi, se costì faranno delle osservazioni su cotesti vetri, troveranno il modo di fare gli oggettivi costì».

(40) Cfr. lettera del Boscovich al fratello, *cit.* nella nota 34.

(41) Nel «Giornale», cit. nella nota 32, Boscovich riferisce di aver mostrato al Principe di Moldavia il 3 luglio 1762, nel corso del suo viaggio di ritorno da Costantinopoli a Vienna «un cannocchiale di tre piedi della nuova invenzione del Dollond col doppio obbiettivo di due specie di vetri, al fine del quale si può mettere anche un istrumentino, che contiene uno specchietto mobile di metallo, che avevo fatto fare a Londra, etc.».

(42) «Ho perduto la mattina aspettando indarno di veder Venere, che le nuvole ostinatissime mi hanno ritolta dagli occhi», dirà Boscovich a Stefano Conti in una lettera del 6 giugno 1761 (cfr. BOSCOVICH, *op. cit.*, nella nota 30, 42).

(43) Il 30 gennaio 1761 scrivendo da Amsterdam all'amico Conti, Boscovich confessa, con riferimento al suo incipiente viaggio a Venezia e Costantinopoli: «spero anche di lavorare con più quiete in quel ritiro, un tomo di Stay, che porta tutta l'Optica, e un tomo dei miei elementi, che tratterà della geometria degli infiniti e infinitamente piccoli» (cfr. BOSCOVICH, *op. cit.*, nella nota 30, 31).

Su Benedetto Stay, intimo amico e corrispondente del Boscovich si veda: *Notizie Istoricocritiche sulle antichità/storia e letteratura de' Ragusei*, Tomo II, Ragusa, 160-169 (1803). Al poema newtoniano: *Philosophiae recentioris versibus traditae libri decem cum ad notationibus et supplementis Rog. Boscovich*, lo Stay fu spinto in particolare proprio da Boscovich, che per lui scrisse un compendio delle opere meccaniche e ottiche di Newton andato perduto. In una lettera al fratello Bartolomeo del 16 marzo 1748 Boscovich scrive: infatti «ogni sera poi detto a D. Beno (Benedetto Stay) per un'ora o due la sua (di Newton) fisica, e mi sono cominciato

a diffondere, sicché se niente niente la ripulisco può venire un corso di fisica buonissima profonda e intelligibile a chi ha idea della gemotria». (Cfr. *MS*, R. G. Boscovich papers: Correspondence, Bancroft Library, Berkeley University). La prima parte del poema (libri I, II, III) venne pubblicata a Roma nel 1755, la seconda parte (libri IV, V, VI) ancora a Roma nel 1760. Gli ultimi quattro libri (VII, VIII, IX e X), di cui i primi tre dedicati all'ottica di Newton e il quarto alla concezione atomistica del Boscovich, vennero stampati solo nel 1792, poiché Boscovich aveva tardato a por fine alle note e ai supplementi che avevano accompagnato le prime due parti. La terza parte apparve infatti senza i supplementi di Boscovich. In una lettera del 29 maggio 1785 da Bassano, Boscovich chiede al Conte Di Wilczek, governatore della Lombardia, di favorirlo nella consultazione della biblioteca di Brera «per compiere un'opera aspettata da gran tempo, e che le varie vicende della mia vita mi hanno costretto a ritardare per una lunga serie di ani». (Cfr. BOSCOVICH, *Carteggio con corrispondenti diversi*, Pubbl. R. Oss. Astron. Milano-Werata, V. 2, 122, (1938)). Esattamente un anno dopo, il 27 maggio 1786, Boscovich pregava lo stesso Wilczek «di voler far spedire alla posta di Roma l'annesso pacco, contenente le copie dell'avviso della consaputa stampa, diretta a Mons. Stay, etc.». Si tratta evidentemente dell'invio delle ultime note al poema dello Stay che il Boscovich non riuscirà a completare a causa della morte avvenuta nel febbraio 1787. In queste note, ma soprattutto nei supplementi di questa opera Boscovich espone limpidamente i concetti newtoniani, senza le ambiguità che caratterizzano i lavori meccanici e ottici del periodo 1738-1748 (cfr., CASINI, *cit.* nella nota 4), ed è un peccato che i supplementi e le note di Boscovich al poema dello Stay non siano state ancora adeguatamente presi in esame al fine della conoscenza delle sue concezioni newtoniane.

(44) Sul problema della produzione e lavorazione di vetro ottico si veda: E. PROVERBIO, *The manufacture and working of optical glass in the 17th and 18th centuries*, Atti Fond. G. Ronchi, 45, 355-376 (1990).

(45) Testimonianza di questa attività è la lettera di Clairaut a Boscovich dell'8 maggio 1763, in cui si dice: «Je suis bien charmé qui vous ayez mis en train le P. Liesganig a faire fondre des matieres analogues au strass. S'il y reussit, il rendra un grand service à la dioptrique» (cfr. V. VARICAK, *Drugi ulomak Boskovicve korespondencije*, Rad Yug. Acad., 193, 321 (1912)).

(46) Sul merito di questa collaborazione che si protrasse con alterne vicende per circa un decennio, si veda: E. PROVERBIO, *La collaborazione di Giovan Stefano Conti e Ruggero Boscovich per la produzione di vetro flint*, Atti X Congr. Naz. Storia della Fisica, Milano, 1991, 311-348.

(47) Si veda la lettera di Clairaut a Boscovich in data 8 maggio 1763 (cfr. VARICAK, *cit.* nella nota 45, 370).

(48) Cfr. *Extract d'une lettre del P. Boscovich a M. Clairaut*, Journal del Scavans, 550-558, Aout (1763).

(49) Cfr. *cit.* nella nota 30.

(50) «Finii ieri sera la dissertazione apparecchiata per Bologna», scriveva Boscovich all'amico Conti il 19 novembre 1763 (cfr. *op. cit.*, nella nota 30, 100). La dissertazione *De recentibus compertis pertinentibus ad perficiendam dioptricam*, sarà inviata all'Accademia di Bologna «sul fine anni 1763», come dirà lo stesso Boscovich, (cfr. *De unione colorum etc.*, *cit.* nella nota 37, 265), e pubblicata nei «Commentarii» dell'Istituto, stampati nel 1767 (Tomi Quinti, Pars Prima). Una traduzione tedesca di questo trattato apparve a Vienna nel 1765 a cura dell'amico gesuita Karl Scherffer (cfr. *Abhandlung von den verbesserten dioptrischen Fernröhren, etc.*, Wien (1765)).

(51) «De recentibus compertis», *cit.* nella nota precedente: § II, 177-186.

(52) *Ibid.*, §§ III e IV, 186-202.

(53) Nel § V della sua dissertazione (*ibid.*, 202-215) è descritto il metodo per la determinazione dell'indice di rifrazione e della dispersione delle lenti basato sulla misura delle sfericità delle superfici delle lenti. In questo stesso paragrafo Boscovich illustra i procedimenti sperimentali da adottare per la misura di dette sfericità. Nel § VI (215-229) sono invece illustrati i fondamenti matematici su cui si basano i metodi per la misura dell'indice di rifrazione e della dispersione che fanno ricorso all'uso di prismi semplici, del prisma ad acqua, e del prisma curvilineo, già impiegato da Clairaut. Una ricostruzione storica ed una descrizione dei vari metodi impiegati e

inventati da Boscovich per la misura delle qualità rifrattive e dispersive delle lenti è data in: E. PROVERBIO, *R.J. Boscovich and the Measurement of the Refractive Quality of Lenses*, Mem. Soc. Astr. Ital., 4, 837-888 (1989).

(54) La descrizione del primo vitrometro ad acqua ideato dal Boscovich e costruito da Stefano Conti e Nicolao Narducci è data nel «*De recentibus compertis*», *cit.* nella nota 50, § VII, 230-235.

(55) Cfr. PROVERBIO, *cit.* nella nota 53, 860-865.

(56) Cfr. *Ibid.*, 867-868. Si veda anche B. MARKOVIĆ, *Boskovice staklomjer-vitrometrum*, Almanah Bošković, 193-202 (1961-62). Sulle manipolazioni e trasformazioni del vitrometro di Boscovich si rinvia a: V. DVORAK, *Boskovice Rad na polju fizike*, in *Život i Ocjena djela R. J. Boskovića*, Zagreb, 470-502 (1887-88).

(57) I risultati delle sue esperienze effettuate col vitrometro e col prisma curvilineo composto vennero accuratamente descritte da Boscovich nella dissertazione: *De unione colorum aliorum post alias per binas substantias, ac unione multo majore per tres*, a cui egli lavorò nel corso del 1764 fino ai primi mesi del 1765 (cfr. E. PROVERBIO, *op. cit.*, in 53, nota 37). Questa seconda dissertazione verrà pubblicata nei «*Commentari*» dell'Istituto di Bologna, Tomi Quinti, Pars altera, 265-333 (1767).

(58) *Ibid.*, § 9, 322-331. Anche Clairaut aveva intuito, sulla base delle sue esperienze effettuate sui prismi, che due sole sostanze non avrebbero eliminato i colori dello spettro, ma senza elaborare poi una teoria dei sistemi diottrici a tre lenti (CLAIRAUT, *cit.*, in nota 29).

(59) Il 14 febbraio 1764, scrivendo al Conti che stava lavorando alla realizzazione di lenti acromatiche (si veda la nota 68), Boscovich afferma: «quando saremo pronti a farne di due vetri, si potrà provare a farne di tre qualità differenti. Mi par di veder chiaro, che con 3 si possano unire gli estremi, e un dè medi. Allora quello, che vi resta è una cosa insensibile. Subito, che avrò la libertà di applicarmici a Pavia ne farò le prove, e le prescriverò i prismi di flint, strass e comune, che servono per questo. Farò i calcoli sul fine della settimana, che avrò più libertà, etc.» (cfr. BOSCOVICH, *cit.* nella nota 30, 125). Circa un anno dopo, in una lettera al Conti in data 27 marzo 1765, Boscovich annuncerà all'amico: «Ho finita in letto la seconda dissertazione per Bologna, che ho già mandato colle figure. In essa è sciolto a lungo quel problema, che le accennai prima di andar a Rimini, per tirar miglior partito dalle osservazioni: vi è dentro tutta l'idea e vi sono tutte le formule per calcolare le sfericità di un oggettivo di 3 lenti, che unisca i colori estremi col medio». (Cfr. *Ibid.*, 176). Ancora agli inizi del 1764 Boscovich comunicava a Clairaut e a Lord Morton, allora segretario della Royale Society, i risultati del calcolo ottico per obiettivi di tre lenti, affinché fossero resi noti alle rispettive Accademie (cfr. BOSCOVICH, *op. cit.*, nella nota 57, 332).

(60) Cfr. VARIČAK, *cit.* nella nota 45, 331.

(61) Lettera di Clairaut a Boscovich in data 27 aprile 1767 (cfr. *Ibid.*, 341).

(62) Clairaut in una lettera al Boscovich in data 21 gennaio 1765 accenna a questa scoperta scrivendo: «Des que la dispersion des couleurs et l'étendue du spectre dans différentes milieux refringens n'à point de rapport déterminé avec l'angle de refraction moyenne je ne suis point étonné de voir que les différentes parties du spectre ne soient point situées proportionnellement; mais je serai fort satisfait de voir les proportions et la loi que vous aurez trouvées dans cette irregularité» (cfr. *Ibid.*, 327).

(63) Cfr. Lettera di Boscovich a Stefano Conti in data 6 gennaio 1763, in: BOSCOVICH, *cit.* nella nota 30, 102-103.

(64) La citazione è nella lettera al Conti del 10 dicembre 1763 (vedi la nota precedente). Boscovich sviluppa la sua prima teoria per la correzione degli effetti cromatici degli oculari nel § IV (*De correzione errorum*) del «*De recentibus compertis*», *cit.* nella nota 50, 197-199.

(65) Il primo accenno alla possibilità di realizzare oculari acromatici costituiti da due lenti si ha in una lettera di Boscovich al Conti in data 24 dicembre 1763 (cfr. BOSCOVICH, *cit.* nella nota 30, 106).

(66) Cfr. Lettera di Boscovich al Conti in data 23 gennaio 1764 (cfr. *Ibid.*, 119-120). Boscovich darà una teoria completa dei sistemi oculari nell'opuscolo I del Tomo secondo della sua opera maggiore: cfr. *Opera pertinentia ad opticam et astronomiam, etc.*, Bassani, 1-194 (1785).

(67) In una famosa lettera a Stefano Conti del 18 giugno 1761 il Boscovich, da Venezia, fornisce al suo corrispondente le prime informazioni tecniche sulla natura dei telescopi dollondiani (cfr. BOSCOVICH, *cit.* nella nota 30, 44-45).

(68) Sulla lunga collaborazione Boscovich-Conti per la costruzione di telescopi acromatici si veda: E. PROVERBIO, *Giovan Stefano Conti and Ruder Boskovic: Experiments for the Realisation of achromatic Objectives*, Studia Boscovichiana (in press). Come risulta dalla copiosa corrispondenza Conti-Boscovich in nostro possesso (cfr. *MS.*, *cit.* nella nota 43) e dal *Racconto e Descrizione delle tentativi da me fatti per la costruzione de Cannocchiali Acromatici Dolondiani, etc.*, redatto dallo stesso Conti, e pubblicato a cura di Gino Arrighi (cfr. «Atti Convegno Inter. celebrativo del 250° anniversario della nascita di R.G. Boscovich, etc», Milano, 153-203, (1963)), Boscovich, almeno fino al 1778, fornirà al Conti continui suggerimenti e i valori delle sfericità delle lenti calcolati da lui, da Clairaut e da d'Alambert.

(69) Sull'allontanamento di Boscovich dalla specola di Brera si rinvia a: G. TAGLIAFFERRI, P. TUCCI, *La dimissione di Boscovich da Brera*, Goirn. di Astron., 3-4, 202-207 (1984). Si veda anche l'introduzione a: E. PROVERBIO, *Historical and critical comment on the «Risposta» of R. J. Boscovich to a paragraph in a letter by prince Kaunitz*, *Nuncius*, 2, 171-226 (1987).

(70) È noto che Boscovich si ammalò gravemente prima e soprattutto dopo il suo arrivo a Costantinopoli, in cui soggiornò presumibilmente dall'ottobre 1761 fino al maggio dell'anno successivo (cfr. BOSCOVICH, *cit.* nella nota 30, 46-48).

(71) Dalla seconda metà di luglio fino al novembre 1763 circa, Boscovich fu impegnato a curare l'edizione italiana della *Theoria Philosophiae naturalis, etc.*, Venetiis (1763), stampata presso la sede della tipografia Remondini a Bassano del Grappa (si veda la nota 17).

(72) La fitta corrispondenza Boscovich-Conti è stata recentemente pubblicata a cura di Gino Arrighi (cfr. *op. cit.*, nella nota 30). L'ancora più numerosa corrispondenza manoscritta Conti-Boscovich e quella che Boscovich intrattenne con Clairaut è invece accessibile presso la Bancroft Library (Berkeley), *cit.* nella nota 43.

(73) Questo fatto è citato nella biografia del grande scienziato scritta da Angelo Fabroni, nella quale si riferisce che la orazione inaugurale letta da Boscovich a Pavia «se non era pomposa per l'eloquenza, lo era per la copia delle cose ottiche trovate di fresco, e da lui o migliorate o spiegate con più facilità ed eleganza». (Cfr. A. FABRONI, *Elogio dell'Abate R. G. Boscovich*, Mem. di Matem. e Fisica della Soc. Ital., Tomo IV, 33-34 (1788)). Un riscontro di questo avvenimento si trova poi nella lettera scritta dal Conti al Boscovich in data 28 maggio 1763, nella quale Conti, interessato ai problemi ottici, chiede all'amico: «La sua orazione inaugurale è stampata? è manoscritta? Si potrà mai vedere? Sarà bella certo e avrei voglia di vederla». (Cfr. *MS.*, *cit.* nella nota 43). Sfortunatamente di questa relazione scritta non si hanno notizie successive.

(74) Alcuni dei telescopi acromatici costruiti dal Conti ebbero lusinghieri riconoscimenti da parte di astronomi illustri come Lalande (si vedano le citazioni riportate nel lavoro *cit.* nella nota 68, note 106 e 107).

(75) La teoria dei sistemi oculari costituiti da due o tre lenti venne per la prima volta comunicata dal Boscovich in diverse lettere scritte al Conti (cfr. BOSCOVICH, *cit.* nella nota 30, 106, 118-120, 129-130, 233-234, 236-238, 251-252).

(76) Un'ampia descrizione del vitrometro sarà data dal Boscovich nell'*Opera pertinentia*, *cit.* nella nota 66, Tomo I, *Op.* I, 1-132.

Agli ottici pratici, e comunque «a persone, che avessero solo una tenuissima tintura della geometria» sono rivolte le *Memorie sulle cannocchiali diottrici*, raccolte in un opuscolo e pubblicate a Milano nel 1771. Boscovich deve avere scritto queste *Memorie* nel periodo della sua permanenza a Milano, e cioè nel corso del 1770 e 1771 (cfr. Lettera di Boscovich a Giuseppe Slop in data 23 dicembre 1771, in: G. ARRIGHI, *Ruggero Giuseppe Boscovich e Giuseppe Slop*, Studi trentini di scienze storiche, 3, 217 (1964)).

(77) Cfr. *Ibid.*, *Op.* IV (*De novo genere micrometri obiectivi*), 315-318.

(78) Cfr. si veda la nota 66.

(79) La descrizione del nuovo vitrometro cilindrico è data da BOSCOVICH in: *Opera*, *cit.* nella nota 66, Tomo I, *Op.* I, Suppl. III, 141-155.

(80) La teoria degli specchi di metallo, e degli specchi di vetro (a due rifles-

sioni) è contenuta nella lettera che Boscovich inviò a Stefano Conti in data 5 luglio 1766 (cfr. BOSCOVICH, *cit.* nella nota 30, 199-208).

(81) Cfr. Lettera di Boscovich al Conti in data 27 maggio 1766, *Ibid.*, 190. Un grande telescopio riflettore di 180 cm costituito da tasselli a forma esagonale venne progettato e realizzato nel 1935 da G. Horn d'Arturo all'osservatorio di Bologna (cfr. Pubbl. Oss. Bologna, vol. V, n. 11, (1955)).

(82) Cfr. BOSCOVICH, *Opera, cit.* nella nota 66, Tomo II, Op. V, 359-378.

(83) Nel *Giornale di viaggio* (*cit.* nella nota 32, 110), Boscovich parla di « un istrumentino, che contiene uno specchietto mobile di metallo, che avevo fatto fare a Londra, e con cui in una camera oscura soglio mandare dove voglio sul muro l'immagine del sole per far vedere le sue macchie e i suoi eclissi, etc. ». E anche il principio su cui si basa il suo eliostato, che egli realizzerà in occasione delle esperienze di ottica condotte dopo il suo ritorno da Costantinopoli (si veda la nota seguente).

(84) Boscovich accenna esplicitamente alla necessità di costruire uno strumento basato su uno specchietto mobile su due assi per ottenere un raggio solare fisso, nella lettera al Conti del 9 settembre 1763. (Cfr. BOSCOVICH, *cit.* nella nota 30, 97). In una successiva lettera a Stefano Conti del 29 maggio 1764 scrive: « Avevo ideato la macchinetta per guardarvi dentro al cannocchiale, e senza muovere questo, andar passeggiando pel cielo col solo moto dello specchio. Dando allo specchio il moto, che si richiede, come nello Eliostato » (*Ibid.*, 148). Lo strumentino di cui si servirà Boscovich per l'osservazione della rifrazione e dispersione nei prismi, e che egli descriverà in una lettera al Conti in data 29 giugno 1776, differisce tuttavia dall'eliostato vero e proprio (*Ibid.*, 192-193).

(85) Nella *Opera pertinentia*, Boscovich dava una accurata descrizione del suo originale e semplicissimo « eliostato » (cfr. *cit.* nella nota 66, Tomo II, Op. I, § VII, 23-28).

(86) Sulle vicende connesse con i progetti di Boscovich di usare un telescopio ad acqua per la misura dell'aberrazione stellare e terrestre si veda: E. PROVERBIO, *R. J. Boscovich's project for verifying Newton's theory on the nature of light*, Atti Convegno Internazionale su R. J. Boscovich, Roma (in stampa).

(87) Nel suo *Elogio storico* dell'Abate R. G. Boscovich, Milano, (1789), Francesco Ricca si sofferma lungamente sulla esperienza dell'aberrazione della luce di Boscovich, molto meno sull'attività dello stesso nel campo dell'ottica. Altrettanto attento ai lavori ottici di Boscovich, anche se più contenuto, è Angelo Fabroni (cfr. A. FABRONI, *Elogio dell'Abate R. G. Boscovich*, Verona (1788)).

(88) Nella recente, pure esemplare biografia di Boscovich redatta da Paolo Casini (cfr. *op. cit.*, nella nota 2) quasi nulla è detto dell'attività di Boscovich nel campo dell'ottica.