

Capitolo II

L'Ottica diventa adulta Parte seconda: da Hooke a Huygens

E' un po' difficile riportare separatamente i contributi di Hooke, Huygens e Newton, poichè, oltre ad essere contemporanei o quasi, furono in frequente contatto e contrasto; ricordiamo che ci stiamo occupando dell'ottica e che quindi non dovremo occuparci dei contributi, fondamentali, di questi autori in altri campi.

Robert **Hooke** (Freshwater, Wight, 1635, † Londra, 1703), nacque in una famiglia di modesti ecclesiastici, ma non continuò la tradizione familiare. Ebbe una adolescenza tribolata e, dopo studi irregolari, nel 1653 approdò ad Oxford dove si riuniva un gruppo di scienziati battezzato da Boyle *Invisible College*. Nel 1660, l'anno della restaurazione, essi fondarono la *Royal Society of London for Improving Natural Knowledge* cui Re Carlo II concesse lo Statuto due anni dopo. Tra di essi i matematici I. Barrow e J. Wallis, l'architetto Ch. Wren ed il fisico Robert Boyle del quale ultimo Hooke divenne presto assistente e poi collaboratore. I futuri fondatori della R.S. cominciarono a riunirsi a Londra nel 1645 alla fine della guerra civile e nel 1646 fissarono la loro sede ad Oxford. Quella Università era stata da poco riformata ed a diversi membri dell'*Invisible College* furono assegnate cattedre ed incarichi direttivi.

Ad Oxford Hooke trovò un ambiente congeniale e godette della duratura amicizia di Boyle. Il Nostro fu forse il più grande sperimentatore prima di Faraday, ma come questi mancò della preparazione matematica di un Newton e di un Maxwell; spaziò dalla meccanica all'ottica alla biologia alla paleontologia e geologia. Quando

venne costituita la Royal Society, della quale Boyle fu il più attivo membro fondatore anche se non volle mai assumerne la presidenza, Hooke venne subito nominato *Curator of Experiments*, carica che lo impegnò moltissimo; costruì, progettò e perfezionò numerosi strumenti : telescopi, barometri, termometri, pompa ad aria, giunto universale. Nel 1664 J. Cutler istituì per lui un dottorato di meccanica: tenne conferenze di meccanica per un decennio e le *Cutlerian Lectures* saranno poi raccolte in volume e pubblicate nel 1679. L'anno dopo, 1665, divenne professore di geometria al Gresham College. Dopo l'incendio di Londra del 1666, preceduto da una epidemia di peste, ebbe l'incarico di sovrintendente alla ricostruzione che lo impegnò in modo stressante per un decennio durante il quale collaborò con l'architetto e matematico Ch. Wren. Inoltre nel 1677, alla morte di H. Oldenburg , un tedesco che passò buona parte della vita in Inghilterra, divulgatore scientifico e segretario della R. Society, il Nostro fu eletto segretario della stessa. Rinunciò a questa carica dopo cinque anni. Tutte queste incombenze lo lasciarono esaurito e durante gli ultimi venti anni della sua vita si isolò nel suo Gresham College a Londra¹ declinando progressivamente; la sua ipocondria si accentuò alla morte (1687) della nipote Grace Hooke con cui aveva una relazione da lunghi anni. Fino ad allora, malgrado il fisico infelice ed la grama giovinezza, era stato socievole ed estroverso anche se vanaglorioso, sospettoso e litigioso. Avanzò pretese di priorità non solo nei confronti di Newton, ma anche di Grimaldi, Huygens, J. Gregory ed altri. Nel 1660 progettò un microscopio che venne costruito per lui dal tecnico Ch. Cock , realizzando uno strumento veramente elegante per quanto riguarda tubo e stativo; ovviamente obiettivo ed oculare erano ancora di qualità modesta (per riproduzioni cf. [3], Vol. I, pag.124 e [21], Vol. III, pag. 643). Quello di Hooke non fu certamente il primo microscopio, Galileo ad esempio ne aveva costruiti almeno due, però il Nostro fu il primo ad usarlo sistematicamente ed a pubblicare illustrazioni delle sue osservazioni. Nel **1665** infatti pubblicò

¹ Il Gresham College, in Gresham Street nella City, fu fondato nel 1579 da sir Thomas Gresham e dotato di sette cattedre per discipline scientifiche ed umanistiche: divynitye, astronomy, musicke, geometry, law, physicke and rethoricke. Fu la prima sede dell'*Invisible College* e della della R.S. L'attuale edificio è del 1913.

Micrographia, grande repertorio sperimentale in cui sono riportati forse i primi risultati di esplorazioni del mondo microscopico, includenti la scoperta delle *cellule*, animali e vegetali, da lui per primo così denominate. A noi interessano i contributi all'ottica per la quale, a dire il vero, il Nostro mostra un interesse piuttosto distaccato: trova l'argomento della natura dei colori così secondario da doverlo esporre " with as much brevity as I was able ". Oltre l'impiego del microscopio sono da ricordare le sue ricerche sulla diffrazione che egli sostenne di avere scoperto non solo indipendentemente, ma prima di Grimaldi. Particolarmente importante il suo dettagliato studio delle colorazioni presentate da lamine sottili di mica, bolle di sapone, vetri in foglie sottilissime, di cui però non poteva conoscere lo spessore. Anzitutto Hooke si valse dei suoi risultati per demolire l'ipotesi di Cartesio che attribuiva i colori a rotazioni dei suoi globuli o particelle. Per Cartesio la rotazione doveva nascere all'atto della rifrazione e doveva annullarsi all'atto di una eventuale seconda rifrazione contraria, come nel caso di lamine a facce piane e parallele. Hooke ribatte che le sue osservazioni provano il contrario. Nella *Micrographia* la sua teoria sulla natura della luce è però francamente deludente, appena abbozzata. Attribuisce la luce ad un *moto* della materia che deve essere *vibatorio* poichè altrimenti porterebbe alla disintegrazione dell'oggetto *luminoso*. Sono questi *impulsi di movimento* che si propagano con grande velocità, ma non infinita, e non la materia. La propagazione della luce avviene in linea retta, secondo raggi di sfere come le onde sull'acqua colpita da una pietra. Lungo i raggi si trasmetterebbero degli *impulsi* che nella luce bianca sono *trasversali* mentre dopo la eventuale dispersione dovuta a rifrazione la vibrazione diventerebbe obliqua rispetto al raggio ed i colori sarebbero dovuti ad impressioni sulla retina di questi impulsi caratterizzati da obliquità ed attenuazioni di diversa entità; si tratta comunque di una conclusione di grandissimo interesse. Si noti che Hooke è d'accordo con Cartesio su un solo punto: la luce si propaga più velocemente nei corpi più densi! Siamo quindi ancora ben lontani da una teoria ondulatoria degna del nome ed in particolare rimane oscuro il meccanismo di trasmissione di questi impulsi da un corpo luminoso ad altri. Non mi sembra che Hooke

consideri l'esistenza di un etere nel senso di Huygens; la sua materia in vibrazione può essere intesa come gli atomi dei corpi luminosi (specialmente quelli diafani) oppure come elementi leggeri; Hooke era sostenitore convinto della teoria elementare del suo amico Boyle come del resto Newton. Sarà quest'ultimo che finirà coll'affibbiare l'arcaico aggettivo *etere* alle vibrazioni di Hooke. V'è riconosciuto che Hooke si può considerare comunque un precursore dell'ottica ondulatoria poichè nelle sue lettere, polemiche, indirizzate a Newton post 1672, affinò la sua teoria della vibrazione ondulatoria della "perturbazione luminosa". Purtroppo non curò una riedizione della *Micrographia* dove avrebbe potuto chiarire meglio la sua opinione in proposito. Egli fu molto orgoglioso del suo postulato della propagazione per impulsi trasversali ed obliqui rispetto ai raggi, però è difficile stabilire quanto questo postulato abbia effettivamente ispirato gli studiosi posteriori.

Quattro anni dopo la comparsa della *Micrographia* una nuova scoperta venne a complicare grandemente il problema della propagazione delle radiazioni luminose. Infatti nel **1669** il medico e matematico danese Erasmus **Bartholin** (Rasmus Berthelsen, Roeskilde, 1625 , † Copenhagen, 1698) pubblicò un lavoro dal titolo personalizzato : *Erasmi Bartholinis experimenta crystalli islandici disdiaclastici, quibus mira et insolita refractio detegitur*. In esso è riportato un dettagliato studio della morfologia nonché della sfaldatura e del comportamento verso reagenti chimici della calcite, ma soprattutto della *birifrazione* presentata da questo minerale. Il Nostro si rende perfettamente conto dell'importanza dell'effetto da lui scoperto che cerca di spiegare con ipotesi corpuscolari, del tutto sterili.

Pochi anni ancora e nel **1676** si deve registrare un'altra svolta fondamentale: proprio il genero di Bartholin, l'astronomo danese Olaf **Römer Christensen** (Aarhus,1644, † Copenhagen, 1710) prova sperimentalmente che la luce si propaga a velocità finita e deduce un valore di essa. La determinazione di Römer si basò sullo studio delle eclissi dei satelliti di Giove che si verificano ad intervalli regolari (in media ogni 42^h 30'), però più lunghi nella metà dell'anno in cui la terra si allontana da Giove; Roemer giustamente interpretò questi " ritardi "

come prova della velocità finita della luce. Essi erano stati osservati da Giovan Domenico **Cassini** (Perinaldo, Imperia, 1625, † Parigi, 1712), dell'Università di Bologna, nel 1669 chiamato dal ministro J-B. Colbert a dirigere l'Observatoire Royal di Parigi, appena fondato. Cassini fu poi direttore dell' Osservatorio per lunghi anni e tra il 1671 ed il 1681 ebbe come collega Römer. Tra il 1671 ed il 1684 Cassini importò dall'Italia tre telescopi di lunghezze tra i cinque ed i trenta metri, costruiti dal suo amico Campani di Spoleto.² Il valore della velocità della luce determinato in quegli anni è di circa il 25% inferiore a quello noto attualmente. Römer dovette abbandonare Parigi nel 1681 e ritornò in patria dove continuò la sua attività sino alla morte. Il regime assolutista di Luigi XIV avrebbe assunto toni lugubri dopo la scomparsa di Colbert, 1683, e la successiva revoca dell'editto di Nantes , 1685; tuttavia già da anni il clima per gli Ugonotti ed altri dissenzienti si era fatto pesante. Si ebbe in quegli anni un esodo di oltre 200' 000 Ugonotti verso i paesi tedeschi protestanti, l'Olanda e la Svizzera. Come subito vedremo, anche Huygens lasciò per sempre Parigi nel 1681; Römer e Huygens erano protestanti.

Christiaan **Huygens** (L'Aia, 1629, † ivi, 1695), al contrario di Hooke, proveniva da una famiglia molto ricca, di antica nobiltà, e di notevoli tradizioni culturali. Suo padre Constantijn fu molto amico di Cartesio e curò, tra l'altro, un laboratorio familiare dove si costruivano strumenti ottici. Huygens soggiornò diverse volte a Parigi, tra il 1666 ed il 1681, ove si fece presto una notevole reputazione quale studioso di astronomia e meccanica; fu chiamato a fare parte della Académie Royale des Sciences già all'atto della fondazione nel 1666. I suoi temporanei ritorni in patria in quel periodo furono dovuti a motivi di salute; invece nel 1681, come già detto, abbandonò definitivamente la Francia.

Negli anni giovanili ideò l'*oculare* astronomico negativo noto come oculare di Campani-Huygens, studiò il pendolo composto ed

² Giuseppe **Campani** (1635 – 1715) va anzitutto ricordato per l'ideazione di un oculare astronomico - negativo che viene tuttora impiegato, oculare di Huygens – Campani.

ideò un micrometro oculare per obiettivi. Pur arrivando presto a criticare drasticamente Cartesio, definì la meccanica cartesiana una costruzione romanzesca, rimase sostanzialmente fedele al suo maestro: "Senza porre dei principi non è possibile dimostrare alcunchè". Notevoli furono i suoi contributi in diversi settori scientifici, ad esempio nella misura del tempo: ideò l'orologio con bilanciere azionato da molla a spirale come regolatore di velocità. Dopo il 1681 dedicò molto tempo, con il fratello, alla preparazione di vetri per le lenti da telescopi.

Le sue due opere che ci interessano sono il *Traité de la lumière* (1691) ed il *Traité de dioptrique* apparso postumo. Il primo è poco più di un opuscolo nella prefazione del quale l'autore si affanna a spiegare di averlo scritto ben 12 anni prima e di averne dato comunicazione, nel 1678 appunto, alla Académie come avrebbero potuto testimoniare Cassini, Roemer ed altri colleghi. A dire il vero non risulta che alcuno, nemmeno Hooke, abbia avanzato pretese di priorità; il Nostro spiega inoltre di avere differito così a lungo la pubblicazione poichè il trattatello era stato scritto in mediocre francese mentre egli avrebbe desiderato tradurlo in buon latino ed inserirlo in un trattato di ottica sperimentale. Rende noto infine di avere aggiunto, rispetto alla stesura del 1678, "solo" l'ipotesi sulla struttura dello spato d'Islanda e la scoperta della birifrangenza del quarzo. Dice di essersi deciso alla pubblicazione per timore che la sua opera andasse persa. In effetti il fisico s'Gravesande tradusse in latino l'opera che apparve nel 1728 col titolo *Tractatus de lumine*. Il *Traité de dioptrique* è, al contrario, molto voluminoso e riporta, tra le altre cose, alcune delle relazioni tra distanze focali, posizione degli oggetti e delle loro immagini, che siamo abituati a trovare nei nostri testi di ottica.

Huygens parte dal presupposto che la luce (*radiazione luminosa*) non possa che essere moto; per eccitare i terminali nervosi sulla retina (*lux*) ci deve essere movimento di qualcosa tra l'oggetto e l'occhio. Due o più fasci di radiazioni propagantisi in direzioni diverse si incrociano senza disturbarsi a vicenda e ciò non potrebbe avvenire qualora si incrociassero sciame di particelle: quindi si tratta di un *moto vibratorio*. A questa importante conclusione il Nostro fu condotto dalle

sue eccellenti conoscenze della meccanica, ma anche dal presunto parallelo col suono. Huygens fa notare come il suono si propaghi nell'aria a velocità finita in virtù della forza elastica e come quindi la determinazione di Roemer fosse un argomento a favore dell'assunzione del detto parallelismo. Egli cerca una spiegazione unitaria dei fenomeni acustici e luminosi; li considera entrambi dovuti a vibrazioni longitudinali, vibrazioni dell'etere nel caso della luce, vibrazioni di " molecole " dei corpi elastici nel caso del suono. A questo punto possiamo ricordare che, sfruttando la pompa ad aria di von Guericke (1602 - 1686) , perfezionata da Hooke, nel **1660** Boyle aveva dimostrato che il suono non si trasmette nel vuoto mentre le proprietà della luce, e del magnetismo, restano invariate al rarefarsi dell'aria. Evidentemente questi risultati erano per il momento caduti nel vuoto, appunto, oppure si poteva credere che la pompa non fosse in grado di aspirare il fantomatico etere. Huygens afferma infatti che per spiegare la propagazione di *onde* (*vide infra*) veloci come quelle luminose bisogna ammettere l' esistenza di una sostanza, l'etere, capace di compenetrarsi in tutti i corpi e di riempire tutto lo spazio sia esso riempito o no da materia ordinaria, dotata di uniforme elasticità ed *elevatissima durezza*: più grande è la durezza di una sostanza più alta è la velocità di propagazione delle onde sonore. L'etere di Huygens non è più il *fluidum* di Cartesio e Grimaldi nè tantomeno la quint'essenza aristotelica però egli dice esplicitamente di non volersi pronunciare sulla sua natura. Analogamente dice di non volersi *assolutamente* occupare delle sorgenti luminose e dei colori e, cosa veramente incredibile, si rifiuta anche di occuparsi della diffrazione! E purtroppo è difficile capire se in definitiva responsabili dell'illuminazione sono le vibrazioni dell'etere o quelle di piccole particelle di materia (*vide infra*).

E veniamo al suo contributo più importante che lo colloca giustamente nel posto di fondatore dell'ottica ondulatoria, il *principio di Huygens*. La luce (*lumen*) non è che un movimento dell'etere, per *onde sferiche* : l'onda è il luogo dei punti nei quali il fenomeno luminoso si manifesta ad un dato istante e ciò che si sposta nello spazio è l'onda, non l'etere (che investe le particelle (?) di materia e le

mette in vibrazione). Le onde a loro volta sarebbero *generate* dall'agitazione delle più piccole "particelle" delle sostanze *sorgenti* di luce che metterebbero in movimento l'etere. Un *singolo impulso positivo* origina l'onda primaria che è positiva (?) sul fronte esterno e negativa verso l'interno. Malgrado i doverosi punti interrogativi si tratta qui di un enunciato del tutto moderno, lontano anni luce dalle teorie medioevali. Viene proposto l'esempio di una fiamma ciascun punto della quale emana un'onda; come è possibile che singole onde emesse da sorgenti puntiformi si facciano *sentire* a distanze anche grandissime? Questa era una delle obiezioni avanzate da Grimaldi, che aveva scelto come esempio di sorgente luminosa un incendio, contro l'ipotesi ondulatoria. Huygens risolve (in parte) il problema come segue. Un singolo centro di impulsi origina una superficie d'onda; se la emissione è persistente e periodica la superficie d'onda dopo ogni periodo è luogo di punti che agiscono come nuovi centri di emissione emanando un'onda *secondaria* . La superficie *inviluppo* delle infinite onde secondarie aventi i loro centri nei punti di una medesima onda primaria è un'onda concentrica alla prima. In tutti i punti delle singole superfici secondarie che non sono punti di contatto con l'inviluppo o che si trovano all'interno la perturbazione si annulla, mentre si rafforza nei punti di contatto ed a distanze infinitesime dall'inviluppo. Per Huygens l'enorme numero di onde emesse dai diversi punti di un corpo luminoso, od illuminato, si uniscono per dare un'unica onda, capace di farsi " sentire" anche a distanze notevoli dalla sorgente dove il fronte d'onda è assimilabile ad un piano la cui normale è la direzione del fascio di raggi. Questo è più o meno il linguaggio di Huygens; sia lui che Hooke avevano nozioni nebulose o nulle sia delle differenze di fase delle onde che del fenomeno della interferenza e quindi i loro enunciati sono difficili da enucleare in poche parole. Senza introdurre differenze di fase il principio rimane piuttosto una ipotesi o, se si vuole, una brillante intuizione confortata dall'esperienza. Il ragionamento di Huygens è accettabile per un singolo centro di perturbazione, ma non spiega perchè si debbano combinare le ampiezze delle onde emesse da una miriade di sorgenti (incoerenti diremmo noi) quali i punti di una candela; ora sappiamo che

quelle che si *sommano* sono le intensità. Nelle sue illustrazioni il Nostro propone la propagazione di onde sferiche, però il principio si può enunciare in forma molto generale: se una perturbazione (ondulatoria) prodotta da una sorgente s raggiunge una superficie S , i punti di quest'ultima sono origini di onde secondarie e la perturbazione osservabile al di là di S è data dalla *sovrapposizione* di queste onde secondarie. Egli non si fermò alla enunciazione, ma riuscì a spiegare riflessione, rifrazione, cammino ottico minimo e soprattutto la birifrazione, con le costruzioni che ritroviamo tuttora nei nostri libri di ottica geometrica. Anzi fu probabilmente la scoperta di Bartholin che spinse il Nostro a dedicare una piccola (peccato) parte del suo tempo allo studio della natura della luce. Vide che la velocità delle onde era minore nei mezzi più densi però qui sorgeva un grave problema: l'etere elastico e durissimo pervade tutti i corpi e come può la " materia" influenzare la velocità che dovrebbe dipendere soltanto dalle proprietà dell'etere stesso? E' bene riassumere i tre (come per Cartesio) meccanismi fisici proposti da Huygens per spiegare la *propagazione* della luce ed in particolare la *rifrazione* :

1) quando la luce passa dall'aria in un mezzo trasparente, il moto ondulatorio viene comunicato alla *materia del corpo dall'etere esterno*. Se la materia è meno elastica dell'etere si giustifica la *minore* velocità della luce nel mezzo. Ci vorrà un secolo e mezzo prima che Fizeau e Foucault riescano a confermare sperimentalmente che la velocità della luce nell'acqua e nei vetri è minore che nell'aria;

2) il moto ondulatorio viene trasmesso alla materia *dall'etere che si trova dentro i corpi* tra le particelle (?) materiali; il passaggio del moto in questi ristretti meati implica un rallentamento;

3) il moto ondulatorio è generato (trasmesso ?) sia dalla materia che dall'etere che riempie gli interstizi nel caso dei corpi birifrangenti.

Dal momento che le onde birifratte dallo spato sono due e di esse una segue le leggi ordinarie e l'altra (straordinaria) no, Huygens deduce

che la forma della prima deve essere sferica e che quella della seconda deve essere di altro tipo e che esse sono propagate l'una dall'etere interstiziale e l'altra dalla materia (meccanismo 3). In base ad un suo modello sulla struttura della calcite che suppone costituita da particelle non sferiche, che non possiamo esaminare per esteso, egli deduce che la velocità delle due onde deve essere diversa e che la forma dell'onda straordinaria è ellissoidica. Seguendo questa sua brillante intuizione il Nostro applica il suo principio dei fronti d'onda ai due tipi di onde rifratte e riesce a seguire la birifrazione per varie condizioni di incidenza. Le sue costruzioni sono ben note e riportate in tutti i testi che trattano della birifrazione. Egli rimase veramente compiaciuto di questa sua idea e trovò meraviglioso l'accordo con i risultati sperimentali. Esegui un'altra osservazione : se i due fasci che escono da un cristallo si fanno passare attraverso un secondo cristallo, per certe orientazioni mutue dei due cristalli i fasci non si birifrangono più. Quindi le onde uscite dal primo cristallo hanno assunto una qualche caratteristica che le fa comportare diversamente da quelle che Newton, che aveva già osservato l'effetto, chiama *naturali*. Pertanto Huygens aveva osservato anche la polarizzazione per rifrazione attraverso un mezzo anisotropo. Purtroppo non arrivò a formulare i principi sia dell'interferenza che della polarizzazione.

Non si è mai chiesto, per quel che risulta, in che modo si potessero rappresentare analiticamente queste onde; dovrà passare più di un secolo prima di avere questa trattazione. Per spiegare il comportamento delle onde che noi diremmo polarizzate egli invoca una certa qual disposizione acquistata dalle onde birifratte; la " dispositio " è un termine introdotto da Newton che pubblicherà nel 1704 le sue osservazioni sulla birifrazione studiata sperimentalmente più a fondo, anche con radiazioni parzialmente monocromatizzate. Comunque Huygens si confessa serenamente impotente a trovare la spiegazione del fenomeno: " Per spiegare in che modo questo avvenga non mi è riuscito di trovare alcunchè veramente soddisfacente. Pertanto lascio meditare queste cose ad altri ". Analoga posizione assume rispetto ai fenomeni della *riflessione parziale* da parte di superfici di mezzi trasparenti e *dell'assorbimento* da parte di

corpi opachi. Newton, al contrario, non sarà incline ad ammettere i propri insuccessi.

La sua posizione verso il rapporto tra osservazione e teoria è riportata all'inizio del *Traité de la Lumière* :

“ Non esiste una certezza intuitiva delle verità fisiche per le quali non è possibile raggiungere l'evidenza delle deduzioni puramente matematiche. Quello che si può ottenere è una certezza morale la quale può talvolta elevarsi ad un tale grado di verosimiglianza da non essere inferiore ad una dimostrazione matematica. La certezza alla quale la fisica può aspirare si raggiunge qualora le deduzioni che si traggono presupponendo una ipotesi fondamentale trovino piena conferma nell'esperienza e soprattutto quando si possano predire in base a quelle deduzioni nuove osservazioni che vengano confermate attraverso esperimenti ”.

Pertanto non sono da scartare " ipotesi di lavoro " che non riescono a giustificare tutti i fenomeni coinvolti ; Newton capovolve questa posizione almeno in linea di principio. Dunque la figura di Huygens appare veramente moderna. Purtroppo, come già accennato, non fa uso di funzioni per la descrizione dei fenomeni ottici e siamo ancora ben lontani dalle nitide formulazioni di Fresnel e Cauchy. Se avesse vinto la sua avversione allo studio del misterioso fenomeno della diffrazione è probabile che avrebbe conseguito risultati più quantitativi. La sua inclinazione alla meditazione sui fatti e la tendenza a ritardare pazientemente la pubblicazione dei suoi risultati e teorie fecero sì che questa personalità fuori del comune venisse apprezzata molto meno di quanto meritasse e che anzi fosse pressochè dimenticata per tutto il Settecento, sul quale gettò luci, ed ombre, la gigantesca figura di Newton. Cartesio enunciò i principii della geometria analitica, ma non andò molto oltre mentre Huygens applicò estesamente il suo principio. L'ottica moderna nasce con lui, ma al contrario di quanto avvenne per Cartesio non ci furono immediati continuatori: bisognerà attendere un secolo per vederne il compimento, nello spazio di una sola generazione, ad opera di Young e della pleiade di scienziati francesi formati nelle scuole fondate durante Termidoro e Direttorio e poi potenziate durante il periodo Napoleonico.