

## Capitolo II

### L'Ottica diventa adulta

#### Parte prima: Cartesio, Keplero, Grimaldi

La Riforma costituisce un periodo critico per la civiltà Europea Occidentale sviluppatasi a partire dal IX secolo con un credo unitario malgrado i numerosi movimenti apocalittici, pauperistici e penitenziali succedutisi a partire dai patarini milanesi ( 1045 ) sino al più recente, duraturo ed importante, scisma Hussita in Boemia e Moravia ( *post* 1412 – 15 ). La predicazione di Lutero non portò inizialmente ad eventi bellici di rilievo poiché l'ethos luterano era abbastanza conciliante: in linea di massima Lutero riteneva che la chiesa non dovesse interferire con la politica. I Luterani si mostreranno spesso molto più avversi ai Calvinisti che ai Cattolici; durante la prima fase della guerra dei trent'anni la luterana Sassonia si alleò con il cattolicissimo imperatore Ferdinando II. Nel 1524 - 25 negli Stati meridionali della Germania ci fu invero la rivolta dei contadini protestanti che si unirono in Lega, sotto la guida di T. Müntzer, Goetz von Berlichingen e G. Metzler per chiedere l'abolizione della servitù della gleba e la distribuzione delle terre della Chiesa delle quali si erano impadroniti i principi luterani. La rivolta si estese anche a città e si ebbero indubbiamente degli eccessi. La repressione fu spietata e M. Lutero ( 1483 – 1546 ), dopo qualche esitazione, appoggiò decisamente la reazione dei principi scrivendo anche un libello contro le bande di contadini briganti ed assassini proprio nel Maggio del 1525, mese della battaglia di Frankenhausen ( Turingia ) che segnò la fine, estremamente cruenta, della guerra dei contadini. Oltre alle centinaia di caduti in combattimento, quasi

ventimila prigionieri, tra cui Müntzer, furono passati a fil di spada, episodio che ricorda la crociata contro gli Albigesi di tre secoli prima. Il luteranesimo finirà per trasformarsi in una setta conservatrice dando luogo ad una serie di chiese locali ( *Landeskirchen* ) appoggiate a principi tedeschi od a sovrani scandinavi.

Nel Giugno 1530 Melantone presentò a Carlo V, durante una Dieta ad Augusta (Augsburg, Baviera), una proposta di compromesso sugli articoli di fede controversi ( *Confessione di Augusta* ) che venne però, nell' Agosto, respinta dai cattolici con la confutazione di J. Eck; la rottura sul piano dottrinale era così consumata . Nel Settembre del 1555 fu tuttavia sottoscritta la Pace di Augusta, tra Carlo V ( in effetti le trattative furono condotte dal fratello Ferdinando ) e i principi luterani : in essa si affermava il noto principio *cuis regio, eius religio*. Il trattato, che non prendeva in considerazione Calvinisti ed altre Confessioni, rimase formalmente in vigore sino alla guerra dei trent'anni ( e fu praticamente rinnovato con la pace di Vestfalia, 1648 ). La pace in Germania fu per il momento garantita dal nuovo imperatore Ferdinando I ( *imperabat*, 1558 - 64 ) succeduto, come imperatore, al fratello Carlo V ( *imperium deposuit*, 1556 ).

Fu con l'avvento del calvinismo ( *ca.* 1533 - 50 ) che le fratture si accentuarono ed il quadro della distribuzione delle varie confessioni si complicò. Con il fervente proselitismo dei calvinisti presto in molti paesi non ci furono più solo due confessioni principali, ma tre, cui vanno eventualmente aggiunte confessioni minori: in sostanza fu vanificato il compromesso di Augusta. Benché il calvinismo tendesse ad originare teocrazie e Calvino manifestasse decisamente tendenze autocratiche, bisogna dire che anche i calvinisti furono in alcuni casi e paesi abbastanza tolleranti sul piano della coesistenza verso le altre confessioni, specialmente quando erano minoranza; spesso erano più intransigenti verso sé stessi che verso gli altri ( ci perdonino Serveto e tutti i dissidenti Ginevrini, ma comunque l'austera Ginevra *non docet* ). La struttura gerarchica delle chiese calviniste era decisamente più " democratica " di quella delle chiese episcopali; però, dato che anche una buona riuscita in imprese commerciali e finanziarie si poteva

considerare un segno di elezione, gli eletti andavano ricercati tra i ricchi ed i reprobati tra i poveri! conclusione che ovviamente era molto gratificante per le ricche borghesie cittadine.

Eccettuato il rozzo e reazionario Lutero ( fu detto becchino della libertà germanica ), molti teologi protestanti erano degli umanisti, ma bisogna riconoscere che la teologia protestante rappresenta un regresso rispetto alla umanità di Tommaso Moro ed Erasmo da Rotterdam od anche rispetto al razionalismo dei Tomisti.

Si ebbero guerre di religione in Francia, regno che all'avvento dello sciatto Luigi XI ( *regnabat*, 1461 - 83 ) sembrava sul punto di disintegrarsi mentre alla sua morte era invece diventato un grande regno unito capace di sopravvivere alle sconfitte di Carlo VIII e Francesco I ed alla crisi delle divisioni religiose. Nel 1477 infatti morì senza eredi maschi Carlo il Temerario quarto duca di Borgogna ed Artois ( e delle Fiandre che però passarono all'imperatore Massimiliano I che aveva sposato Maria di Borgogna, figlia ed unica erede del Temerario ) e nel 1480 morì il re René di Aix anch'egli senza lasciare eredi maschi e questi domini, di fatto indipendenti, furono uniti alla corona dei Valois. In quegli anni l'Inghilterra era dilaniata dalla guerra delle Rose e non poté riprendere la tradizionale politica di interferenza sul continente. In Francia il Calvinismo ebbe un notevole sviluppo ( Ugonotti = Eidgenossen ? ) e gli storici elencano ben otto "guerre di religione" combattute con alterne vicende tra il 1563 ed il 1593 quando il figlio di Jeanne d'Albret, ultimo sovrano di Navarra, morta avvelenata due mesi prima della notte di San Bartolomeo (24 -8 - 1572 ), salì al trono con il nome di Enrico IV capovolgendo il principio *cuius regio, eius religio* in *religio regionis, religio regis* ; nel 1598 promulgherà l'Editto di Nantes.

Più devastanti furono per le Fiandre gli eventi bellici nella seconda metà del Cinquecento; quasi continuazione della guerra tra Spagna e Francia ( 1556 – 59 ), scoppiò la rivolta dei Paesi Bassi contro gli Spagnoli dopo che nel 1567 Fernando Alvarez de Toledo duca d'Alba era riuscito a mandare a morte 17.000 protestanti. La lunga,

trentennale, lotta per il riconoscimento del Protestantismo divenne la guerra di liberazione delle Province Unite, vittoriose ( sui mari ) malgrado i temporanei successi del Duca d'Alba, di Don Giovanni d'Austria e del *condottiere* padano Alessandro Farnese. Il clima di insicurezza e l'angoscia regnante in quegli anni erano state icasticamente anticipate dalla tristezza soffusa nei dipinti di Pieter Brueghel il Vecchio e dalle drammatiche crocifissioni di Mathis Grünewald.

Gli effetti di tutti questi conflitti non furono trascurabili, ma furono poca cosa rispetto a quanto avvenne nel trentennio 1618 - 1648 durante il quale l'Europa centrale fu completamente devastata dopo essere diventata campo di battaglia tra Francesi, Svedesi ed Absburgo. La Germania, che all'inizio del secolo era all'avanguardia dei paesi europei, si ritrovò, trent'anni dopo, al livello della Moscovia. Oltretutto amputata della Lorena e dell'Alta e Bassa Alsazia, era chiaro che non sarebbe riuscita a superare l'anarchia dei 300 e più staterelli, in cui era divisa, per chissà quanto tempo, con estremo compiacimento degli eredi di Richelieu. Nel Regno di Boemia la popolazione si ridusse da circa due milioni a meno di ottocentomila persone e questo dato è più che sufficiente per fare comprendere l'entità delle devastazioni.

Proprio verso la fine della guerra dei trent'anni precipitò in Gran Bretagna, ormai in larga parte protestante, la crisi religioso-dinastica iniziata qualche anno prima. La guerra civile non fu eccessivamente sanguinosa ed il Commonwealth di Cromwell durò solo una dozzina d'anni. Il vero epilogo, 1688 , portò ad un regime monarchico costituzionale sotto l'egida dell'aristocrazia terriera Whig. In compenso la tradizionale barbarica *rabies iconoclastica* dei calvinisti si era nel Cinquecento accanita anche su opere murarie di abbazie e conventi lasciandoci, a loro dispetto, splendide rovine sia in Inghilterra che in Scozia dove il calvinismo si era diffuso rapidamente con la predicazione di John Knox, tra il 1546 ed il 1560 data della promulgazione della *Confessio Fidei Scotica*. La chiesa Presbiteriana raccolse presto la maggioranza della popolazione nelle regioni centro-

meridionali; la gerarchia era decisamente democratica ed inoltre la chiesa organizzò un sistema di educazione elementare per tutti i ceti che, dopo un periodo di rodaggio e di accentuate finalità dottrinali, diede ottimi frutti e contribuì a stringere il legame con la popolazione dato che gli insegnanti erano originariamente ministri della chiesa.

Malgrado i nefasti eventi su accennati, la tumultuosa età barocca costituisce un periodo fecondo in molti paesi per la scienza in generale anzi, se non si trattasse di un termine del quale troppo si è abusato negli ultimi quarant'anni, si dovrebbe dire che il Seicento vide una vera Rivoluzione Scientifica con Bacone, Boyle, Copernico, Galileo, Harvey, Huygens, Leibniz e Newton e molti altri. Anche in campo applicativo-tecnologico si ebbero innovazioni molto importanti: si pensi solamente a microscopi, termometri e barometri, strumenti del tutto sconosciuti alle generazioni precedenti. Dopo l'affermarsi dell'eliocentrismo copernicano, la scoperta del meccanismo e della funzione della circolazione del sangue nel corpo umano contribuì a distruggere definitivamente la concezione medioevale della natura. Si può ricordare che le indagini di W. Harvey ( 1578 – 1657 ), ex-allievo dell'Ateneo Padovano, erano state precedute e rese possibili dalle ricerche di un gruppo di anatomici tutti operosi a Padova, anche se per periodi di tempo diversi. Tra i più noti ricordiamo: l'aragonese Serveto ( Miguel Servet, 1511, † Ginevra! 1553 ), il fiammingo Vesalio ( André Vésale, 1514 – 1564 ) e l'aretino Cesalpino ( Andrea, 1519 – 1603 ). L'opera di Harvey sarà completata dagli studi al *microscopio* del bolognese Malpighi ( Marcello, 1628 – 1694 ), pioniere dell'anatomia microscopica. Altrettanto importanti furono i contributi di Robert Boyle ( 1627 – 1691, quattordicesimo figlio del primo conte di Cork ) fisico e chimico. Per quanto riguarda la chimica, distinse le sostanze in *elementi*, formati da atomi omogenei, *composti* le cui molecole sono formate da atomi eterogenei, ed infine in *miscugli*, sostanze costituite da molecole eterogenee e quindi in genere separabili con mezzi fisici. *The Sceptical Chymist* comparve nel 1661 ( ed. latina nel 1668 ) ed ebbe vasta diffusione, molto apprezzato da Hooke e Newton, ma ci vorrà più di un secolo perchè si possa parlare veramente di scienza

chimica e quindi il padre della chimica non riuscì a vedere la figlia raggiungere la maggiore età. Dal canto suo non riuscì a scoprire alcun nuovo elemento.

Per l'ottica in particolare il Seicento si apre con Cartesio, Grimaldi, Keplero e Snell ( 1600 ca. – 1650 ) e si chiude con Hooke, Huygens e Newton ( 1650 ca. – 1710 ). Periodi turbolenti, purché non insopportabilmente catastrofici, offrono delle sfide per ricostruire e costruire ex-novo che possono essere stimolanti per le arti e le scienze mentre lunghi anni di regimi pacifici ed austeri possono magari solo condurre all'invenzione dell'orologio a cucù.

Prima di ricordare i contributi degli scienziati di cui sopra, vale forse la pena di considerare brevemente Francesco Maurolico ( Messina, 1494, † ivi, 1575 ) e Giovan Battista Della Porta ( Napoli, 1535, † ivi, 1615 ), studiosi di diversa levatura, ma che furono gli ispiratori del Keplero studioso di ottica.

L'abate **Maurolico**, di famiglia greca, fu un illustre matematico ed anche un benemerito traduttore in latino delle opere di geometria di Archimede, Apollonio e Pappo, traduzioni non ancora disponibili. Scrisse inoltre due brevi opere, in pratica un trattato in due parti intitolate *Photismi de lumine et umbra, ad perpectivam et radiorum incidentiam facientes*, terminata nel 1521, e *Diaphaneon, seu transparentium libri tres*, completata nel 1553. L'autore non curò la stampa di questi lavori che apparvero a Napoli nel 1611 stampati in numerosi esemplari. Una prima tiratura, limitatissima, era però stata eseguita a Venezia nel 1575. Nei *Photismi* Maurolico, usando un linguaggio che si può definire moderno, mostra la esistenza dei fuochi per specchi concavi quando si usi una sorgente puntiforme e traccia una spiegazione della formazione delle immagini. E' stato lui il primo Europeo ad introdurre la nozione di raggio *luminoso* geometrico, cioè unidimensionale e portatore del *lumen*; altrettanto importante la scoperta della formazione di immagini *virtuali* che verrà studiata rigorosamente da Keplero. Nel *Diaphaneon* affronta il problema della rifrazione da parte di una sfera (ancora!) trasparente nonché di prismi

e biprismi ed é la prima volta che viene affrontato il comportamento dei prismi. Decisamente importanti lo studio di lenti biconvesse e *biconcave*, nonché della lente del cristallino ( da lui detto impropriamente *pupilla* ) dell'occhio umano: conosceva l'anatomia dell'occhio studiata dal Vesalio ( *cit.* poco sopra ). Tratta l'azione delle tuniche e del cristallino senza limitarsi ai soli raggi " predominanti " e critica i suoi predecessori (?) che dopo avere fatto giungere le specie sul cristallino non si sono preoccupati di come dovevano uscire dalla faccia posteriore per raggiungere la retina. A quanto pare non lo preoccupa l'inversione delle immagini. Arrivò a vedere molto bene l'effetto di correzione della prebiopia e miopia da parte di lenti convergenti e divergenti nonché l'effetto dell'età sulla curvatura del cristallino. Nel *Diaphaneon* ci sono però delle proposizioni che mal si accordano con quanto appena detto. Il Nostro considera il cristallino come sede della *visiva virtus* ed avente la funzione di ricevere le immagini e di trasmetterle al nervo ottico: prima di convergere e produrre l'inversione, i raggi luminosi attraverso la cornea, l'umor acqueo, il cristallino e l'umor vitreo trasportano accuratamente una figura simile all'oggetto. Sembra un tentativo di conservare le *specie* di Avicenna.

Mentre il lavoro del Maurolico studioso di ottica passò pressoché inosservato vivente l'autore, molto maggior fortuna ebbero due opere del **Della Porta** : *Magiae Naturalis libri IV* (1589 ) e *De Refractione* (1593). Il primo é un guazzabuglio di argomenti vari, tra cui la camera oscura. Comincia però a prendere in considerazione gli occhiali con lenti sia concave che convesse per le quali, in questo libro divulgativo usa quasi sempre il termine volgare *lens crystallina*. Il termine aulico *specillum* viene invece costantemente usato nel secondo libro, molto più serio, nel quale tenta una teoria delle lenti. Nell'esaminare la rifrazione sfrutta in parte le idee di Alhazen introducendo però una terminologia quanto mai confusa : il raggio é una direzione lungo la quale un corpo illuminato manda il suo *fulgor* ( lumen ? ); i corpi illuminati emettono *un'immagine* che sembra essere nient'altro che il vecchio simulacro. Non vale la pena di soffermarsi oltre; l'importanza del Della Porta consiste piuttosto nell'avere

stimolato l'interesse di Keplero che lo cita ripetutamente, mentre non cita Maurolico, che quasi certamente conosceva.

É solo con **Galileo Galilei** ( 1564 - 1642 ) , il quale dimostrò il potere del metodo sperimentale, che la fisica in generale cominciò effettivamente a svilupparsi su basi solide. Benché non abbia dedicato alcuno scritto a problemi metodologici, é fuor di dubbio che Galileo ebbe il merito di aprire una nuova strada alla ricerca scientifica caratterizzata dal largo impiego della matematica nello studio dei fenomeni fisici. ( In ciò fu un pò anticipato da R. Bacone, almeno a livello di buoni propositi ). Egli ebbe la ferma convinzione del valore conoscitivo, non puramente ipotetico, delle teorie scientifiche. Un suo grande contributo alla filosofia naturale va cercato nella sua coscienza dei poteri della ragione e dell'autonomia della ricerca stessa. Si può giustamente ritenere l'iniziatore della fisica sperimentale. Le sue prese di posizione, ed anche i suoi risultati, incontrarono dure opposizioni, come é ben noto, ma si diffusero rapidamente. Galileo si può considerare l'inventore del microscopio composto oltreché perfezionatore del cannocchiale astronomico e terrestre.

**Keplero** ( Johannes Kepler, Weil der Stadt, Württ. 1571, † Regensburg, 1630 ), ebbe una infanzia triste; nacque in una famiglia modesta presto abbandonata dal padre, soldato di ventura. Riuscì comunque a laurearsi in filosofia a Tübingen nel 1591 ed ottenne una cattedra di matematica e astronomia al seminario di Graz ( Stiria ) che tenne sino al 1600, anno in cui fu costretto a lasciare l'Austria perché era di fede luterana. Per sua fortuna l'illustre astronomo Tycho Brahe, matematico imperiale e protetto dall'imperatore Rodolfo II, lo nominò suo assistente a Praga. Nel 1601 successe al Maestro, deceduto in quell'anno, e rimase a Praga sino al 1612, anno della morte dell'imperatore Rodolfo. Il suo successore, Mattia, gli confermò la carica di matematico imperiale e poi gli accordò il permesso di lasciare la capitale imperiale e di trasferirsi a Linz dove ricoprì la carica di matematico arciduciale sino al 1626. Obbligato a lasciare Linz, dove

i contadini erano in rivolta contro la forzata conversione al cattolicesimo, trovò un ultimo protettore nel duca A. Wallenstein, ma morì dopo pochi anni. Il periodo praghese fu comunque il più fruttoso per il Keplero studioso di ottica ed astronomo.

Nel **1604** pubblica il saggio *Ad Vitellionem Paralipomena* che è la sua prima opera riguardante l'ottica. Il titolo è veramente modesto, "Aggiunte a Witelo" , ( astronomo polacco del XIII secolo che eseguì traduzioni di testi arabi e che riporta idee di Alhazen senza citare la fonte ) ma in essa ci sono senz'altro alcuni fondamenti dell'ottica geometrica. Così infatti si esprime: un corpo luminoso è un aggregato di punti che fungono da vertici di coni di raggi, *radii*, che entrano nella pupilla dell'occhio. Viene quindi data una descrizione rigorosa della rifrazione attraverso cornea e cristallino. Rifratti dal cristallino essi raggi formano un secondo cono con vertice in un punto della retina ( per Keplero *fondo dell'occhio* ) dove avviene lo stimolo visivo. La mente procede a localizzare le sorgenti puntiformi esterne e a raggruppare i punti immagine per ricostruire il corpo luminoso; lascia ai "fisici" il compito di spiegare come ciò avvenga . Quindi dopo duemila anni si assume finalmente in modo chiaro che lo stimolo luminoso avvenga sulla retina. Ovviamente Keplero ha visto benissimo che le immagini si formano capovolte e formula in proposito una regola empirica: se lo stimolo sul fondo dell'occhio avviene in basso la sorgente luminosa deve venire vista in alto e viceversa, se lo stimolo avviene a destra la figura deve essere vista a sinistra e viceversa. Considerando la visione monoculare evidenzia il triangolo costituito da due raggi uscenti da un punto e diretti verso gli estremi della pupilla ed avente come terzo lato il diametro della pupilla stessa: *triangulum distantiae mensorium*. Questo triangolo misuratore permette al sistema mentale dell'osservatore di localizzare nel vertice "acuminato" il punto luminoso. Affronta anche il problema della visione binoculare e dimostra come la convergenza delle visuali degli occhi porti ad individuare la posizione dei punti irradianti mediante una triangolazione. In questo contesto va collocata una delle conquiste più importanti di Keplero riportata nei *Paralipomena* : la descrizione e giustificazione delle immagini virtuali generate da specchi piani.

Non sempre il suo linguaggio é rigoroso e moderno. Per intanto non distingue tra lumen e lux, usa solo lux e *Lucis radius*, ma la cosa stranissima é proprio la sua distinzione tra raggio e luce. Come nel moto fisico si può avere movimento in linea retta, ma ciò che si muove é un corpo, “ ..... ita *in luce* motus ipse est recta itidem linea, mobile vero, est superficies quaedam ”. Quindi il raggio é puro moto (?), e si propaga rettilineamente, mentre ciò che si muove é una superficie e per Keplero la velocità della luce é infinita: “ Lucis ( ?? ) motus non est in tempore, sed in momento ”. Volergli attribuire una intuizione del fronte d'onda richiede veramente molta fantasia, si tratta probabilmente di reminiscenze medioevali. Molto più rigoroso e chiaro il linguaggio del Maurolico. Per il Nostro poi, il colore é luce in potenza sepolta nella materia pellucida, cioè quella dei corpi diffondenti; quando attraversa i corpi la luce si colora. Qui siamo ancora lontani da un retto apprezzamento della natura delle radiazioni luminose.

Nei *Paralipomena* il Nostro snobba ancora le lenti; le prende in considerazione solo come occhiali, però anche qui porta contributi notevolissimi: asse ottico, fuochi e, con il suo meccanismo della visione, spiega come gli occhiali correggano i difetti della vista portando i vertici dei coni interni all'occhio direttamente sulla retina. Inoltre si deve a Keplero la prima chiara osservazione dell'aberrazione da coma : operando con fasci di raggi rastremati mediante " finestrelle " di diversa apertura, osservò come i raggi parassiali venissero ben focalizzati da specchi concavi e da sfere di vetro, mentre i raggi non parassiali venissero fatti convergere in coni.

Per fortuna sua e dell'ottica, nell'Agosto del **1610** Keplero riesce ad ottenere un cannocchiale costruito da Galileo che gli fa finalmente apprezzare l'importanza delle lenti ( vicisti Galilaeae ! ). Nello spazio di pochi mesi mette a punto la teoria delle lenti quali *diottri* per ingrandimento ed a fine anno manda alle stampe la *Dioptrice* che si può dire costituisca il primo testo di ottica geometrica.

I risultati di Keplero si affermarono molto lentamente; i *Paralipomena*, in particolare, passarono quasi inosservati. Le nuove idee erano ferocemente avversate da legioni di Don Ferrante peripatetici. Si ricordi del resto quali incredibili argomentazioni di

peripatetici e paracelsisti dovesse ancora controbattere Robert Boyle, nel 1661! , quando scrisse lo *Sceptical Chymist*. Di Keplero mi piace ancora ricordare il saggio *Sena seu de nive sexangula* ( 1611 ) : la simmetria esagonale dei fiocchi di neve viene spiegata in termini di assestamento di "atomi" e nella relativa discussione viene spiegato come si possono riempire spazi bi- e tridimensionali mediante assestamenti compatti di sfere. Si può quindi dire che Keplero gettò i fondamenti della cristallografia geometrica. Il suo interesse per i poliedri lo portò a collegare i raggi delle orbite planetarie con i poliedri di Platone! Indubbiamente Keplero é molto meno moderno di Galileo. Spesso il linguaggio di Keplero ricalca quello di Maurolico che il Nostro non cita, mentre cita generosamente il mediocre Della Porta. La storia dell'ottica é del resto ricca di priorità e primogeniture contestate; va anche notato che i puntuali riferimenti bibliografici di cui sono costellate le nostre note pubblicate su periodici non erano un tempo ritenuti necessari. V. Ronchi ha dedicato molto tempo ad una appassionata ricerca sulla possibilità che Keplero abbia plagiato Maurolico, tanto per chiamare le cose con il loro nome, e rinviemo in proposito al lavoro [18] anticipando che l'autore sembra decisamente incline ad un verdetto di colpevolezza. Va piuttosto notato come già al tempo di Galileo vi fossero difficoltà a stabilire contatti tra studiosi di paesi, e confessioni, diversi. La guerra dei trent'anni lascerà poi prostrata l'Europa centrale, come già accennato. Il contributo degli studiosi tedeschi si attenuò per lungo tempo e si creò una spesse di cortina, ma non del tutto impermeabile, tra i paesi del nord Europa e quelli del sud.

Grande diffusione ebbero invece i nuovi strumenti matematici messi a punto, grosso modo, tra il 1550 e il 1620 : introduzione della virgola ( punto ) decimale, studio di *funzioni*, algebra letterale, inizi della geometria analitica. Furono infatti attivi in questo intervallo di poco più di due generazioni: Viète, Cardano, Tartaglia, Stevin, Napier, Briggs seguiti poco dopo da Cavalieri, Fermat, Cartesio e Pascal. Forse non casuale é il contemporaneo, o quasi, sviluppo della musica che vedrà, nel corso del secolo, l'affermarsi di raffinate e complesse composizioni

strumentali, sul fondo del basso continuo; l'anima apollinea della geometria ed arti plastiche della progenitrice civiltà ellenica si é ormai mutata nell'anima faustiana delle matematiche ed arti della civiltà occidentale<sup>1</sup>.

Singolari sono le vicende personali anche di **Cartesio** ( René des Cartes du Perron, La Haye, non l'Aia!, Touraine 1596, † Stoccolma, 1650 ), filosofo, matematico e " soldato di ventura" . Educato nel rinomato Collegio di La Flèche ( presso Saumur, Maine et Loire ) retto dai Gesuiti ( 1606 ? -1612 ), nel 1616 consegue la licenza in diritto a Poitiers. Nel 1618 compie un viaggio in Olanda e a Breda si arruola in uno dei reggimenti francesi al servizio di Maurizio di Nassau-Orange, calvinista, ma l'anno dopo si arruola nell'esercito di Massimiliano di Baviera, cattolico. Nel 1622 ritorna in Francia per regolare gli affari di famiglia; é ora abbastanza ricco da non doversi più preoccupare di avere un impiego fisso e nei successivi sei anni compie diversi viaggi e coltiva amicizie con letterati e scienziati. Nel 1629 si stabilisce in Olanda dove trascorrerà i successivi diciotto anni e dove pubblica nel **1637** a Leida tre saggi scientifici preceduti da uno scritto metodologico. Si tratta dei famosi: *Discours de la méthode*, *La Dioptrique*, *Géometrie*, *Les Météores*. Nel 1644 pubblica in Amsterdam la sua opera filosofica principale: *Renati Des Cartes Principia philosophiae*. Si noti il comportamento piuttosto inusuale di Cartesio: pubblica in volgare i saggi scientifici e li fa poi tradurre in latino che conosce benissimo ( Parigi, 1644 ); pubblica in latino i *Principia* e li fa in seguito tradurre in francese ( Parigi, 1647 ). Malgrado la cautela con cui tratta le proposizioni di carattere cosmologico, a tratti sinceramente stucchevole, viene fatto segno di violentissimi attacchi da parte di teologi ed accademici locali e nel 1647 ritorna in Francia. Nell'Ottobre del 1649 accetta l'invito della regina Cristina e parte per la Svezia dove morirà l'11 Febbraio dell'anno dopo in seguito ad un colpo di freddo che volle curarsi da solo.

---

<sup>1</sup> cf. Spengler, O. ( 1981 ). *Il tramonto dell'Occidente*. Parte I , Cap. IV. Longanesi Ed. , Milano.

Come detto, pubblicò nel 1637 la *Dioptrique* assieme agli altri due lavori di carattere scientifico. I contributi del Nostro alla natura della luce e all'ottica geometrica si trovano anche nelle *Meteore* e in un *Traité de la lumière* completato già nel 1633, ma pubblicato postumo. Nella *Dioptrique* viene esposta la corretta formulazione quantitativa, con notazione moderna, della legge della rifrazione a cui egli giunse in base ad un presupposto del tutto sbagliato. Per spiegare l'avvicinamento alla normale del raggio rifratto da un vetro o dall'acqua, più "duri" dell'aria, Cartesio conclude che la componente parallela alla superficie rifrangente rimane inalterata dopo rifrazione, mentre quella perpendicolare aumenta con il che risulterebbe che la luce viaggia *più velocemente nei mezzi più densi*. E' da notare che una spiegazione simile era stata introdotta da Alhazen che riteneva finita la velocità del *lumen*. Per giustificare la sua assunzione, Cartesio invoca uno dei vari, e fuorvianti, paragoni balistici sfruttati generosamente in tutta la *Dioptrique* : " come una palla perde più del suo moto urtando contro un corpo molle che contro uno duro ..... così l'azione di questa materia sottile può essere impedita dall'aria ... " . L'attribuire al Nostro la credenza nella velocità infinita della luce ( come affermato in [8] e [18] ) non sembra accettabile: proprio lui, fondatore della geometria analitica, come avrebbe potuto parlare di *componenti* della velocità sotto detta ipotesi? Le sue espressioni *instans*, *minimo temporis momento*, sono verosimilmente da intendersi come espressioni metaforiche per indicare la minima durata temporale che noi possiamo figurarci oppure come concetti limite. Perlomeno così sembra risultare dai *Principia* che sono la sua opera più meditata e si può dire ultima, dopo ( 1649 ) pubblicò solo le *Passions de l'âme*.

Per Cartesio la luce sarebbe un movimento vorticoso ( é difficile dire cosa pensasse veramente il Nostro ) di una materia sottilissima che riempie i "pori" delle sostanze e tutto lo spazio, o meglio che si identifica con lo stesso spazio. Che non possa esistere lo spazio vuoto viene infatti sostenuto con il ben noto argomento :

"..... dal solo fatto che un corpo é esteso in lunghezza, larghezza e

profondità, concludiamo giustamente che esso é una *sostanza*. Poiché ripugna assolutamente che il nulla abbia una qualche estensione, si deve concludere lo stesso anche per lo spazio che é supposto vuoto; infatti poiché in esso vi é estensione, necessariamente vi é anche sostanza ", (*Principia philosophiae*, 2, 16 ).

Bisogna però tenere presente che per Cartesio la materia é unica, *Principia*, 2, 22-23 ; essa può semplicemente presentarsi in tre diverse forme e vari stati di aggregazione. I famosi vortici sono materia in movimento, *ibid.* 3, 46 e 3, 52. Quindi il tramite della propagazione della luce non può essere l' " etere " di Grimaldi e Huygens ( *vedi* ) , una sostanza diversa dalla materia ordinaria.

Cartesio rifiuta la possibilità di azione a distanza e pertanto deve negare non solo il vuoto, ma anche gli atomi. Però altrove parla di particelle mobili di luce e dice che i colori sono dovuti a moti rotatori, con velocità diverse, delle particelle. Questo é un contributo importante: all'inizio del '600 la luce era ritenuta incolore, una cosa era la luce ed un'altra i colori, qualità degli oggetti. Lo stesso Alhazen parla di *lumen*, *lux* e di *color illuminatus*.

In effetti Cartesio elaborò tre modelli, contraddittori, della " luce " :

- 1) la luce é composta da particelle in movimento, come palle da tennis;
- 2) la luce é una specie di fluido che passa attraverso i pori di un mezzo, come il mosto in un tino passa attraverso le bucce ed i semi;
- 3) la luce é costituita da onde che esercitano pressione su un mezzo elastico che pervade tutto.

Quest'ultimo é chiaramente ispirato alla presunta analogia tra la propagazione della luce e quella del suono nei mezzi fluidi ; purtroppo l'assunzione di questa analogia durò molto a lungo, sviò diversi scienziati, e varrebbe la pena di essere esaminata in dettaglio. Il Cartesio studioso di ottica comunque non sembra molto metodico. Stupefacente é l'aristocratico distacco che mostra appunto riguardo

alla natura della luce. E' meglio riportare la stesura originale onde evitare ambiguità di traduzione: " ... je crois qu'il suffira que je me serve de deux ou trois comparaisons qui aident à la concevoir en la façon qui me semble la plus commode ( sic ) pour expliquer *toutes* celles de ses propriétés que l'expérience nous fait connaître, et pour déduire ensuite *toutes* les autres qui ne peuvent pas se aisément être remarquées " ( *La Dioptrique, Discours premier* ). Nella *Dioptrique* viene invece proposta una teoria della visione ( essenzialmente nei Discorsi IV e VI ). Giustamente le immagini, capovolte, che si formano sulla retina vengono considerate come il primo stadio della visione. I nervi ottici trasportano le sensazioni retiniche alla ghiandola pineale dove vengono elaborate ( e "fuse" con quelle degli altri organi sensoriali ) e si generano le percezioni degli oggetti e dei colori. Al raddrizzamento delle immagini retiniche ed alla percezione delle dimensioni relative degli oggetti osservati dovrebbe quindi provvedere il nostro sistema nervoso anche se Cartesio non usa espressioni del genere. La lettura di quest'opera lascia piuttosto insoddisfatti: l'uso continuo di paragoni ed ipotesi, come quelle relative alla ghiandola pineale ed all'importanza della fovea rispetto al resto della retina, danno l'impressione di componimenti letterari anziché di relazioni scientifiche. Va comunque dato atto al Nostro dell'interesse per questi problemi mentre gli altri ottici del Seicento e Settecento furono studiosi essenzialmente interessati all'ottica fisica, il problema della *lux* a loro non interessava più.

E' ancora da ricordare che nel 1637 egli prevede, cosa notevole, che uno specchio a curvatura parabolica od iperbolica avrebbe notevolmente ridotto l'aberrazione da sfericità caratteristica degli specchi a curvatura sferica, ma non riuscì a trovare il modo di molare i vetri in modo da ottenere detti specchi e non ci riuscirà nemmeno Newton . Per notizie cronologiche sulle tecniche di molatura e pulitura delle lenti cf. [21], Vol. III.

Senza dubbio Cartesio formulò in modo corretto le leggi della rifrazione e riflessione, però per la prima sorge un altro caso di priorità contestata. Prima di considerarlo brevemente, diamo atto al Nostro di

un contributo involontario al progresso dell'ottica. Pierre de **Fermat** ( Tolosa, 1608, † Castres, 1665 ) , uno dei maggiori matematici di tutti i tempi, arrivò a formulare il suo principio proprio in polemica con le ipotesi, errate, di Cartesio sulle velocità relative nei diversi mezzi. Arrivò alla formulazione poco prima della sua morte, ma la dimostrazione fu pubblicata postuma dal figlio solo nel **1679**. Il principio di Fermat nella sua formulazione attuale vale per tutti i *cammini ottici*: la traiettoria che, secondo le leggi dell'ottica geometrica, un raggio percorre per congiungere un punto A con un punto B é quella di cammino *ottico* minimo.<sup>2</sup> Fermat studia in particolare la rifrazione e parte da una sua convinzione molto generale : “..... la nature agit toûjours par le voyes le plus courtes ”. La lunga dimostrazione di Fermat, non ancora in possesso del calcolo differenziale, si basa sul postulato che la velocità di propagazione della luce sia maggiore nell'aria che nell'acqua e precisamente che *le due velocità* stiano nello stesso rapporto rapporto dei seni di (i) e di (r). Se ne deduce, tra l'altro, che la velocità della luce deve essere finita in tutti i mezzi.

Ritornando alla legge della rifrazione dobbiamo citare **Snell** ( Willebrod van Royen, Leiden, ca. 1585, † ivi, 1626 ) che non si valse di alcuna teoria sulla natura dei raggi, ma si basò semplicemente sui risultati raccolti da diversi sperimentatori ed in particolare da Keplero che aveva proposto la formula  $(i) / (r) = \text{cost.}$  ( valida solo per  $(i) \leq 15^\circ$  ) . Snell arrivò invece alla corretta espressione :

$$\sin(i) / \sin(r) = \text{cost.}$$

Già nel 1662, I.Vossius rivendicò la priorità della formulazione a Snell, confortato dall'approvazione di Huygens. Non si sa se Cartesio conoscesse l'enunciato di Snell, ma é chiaro che i due scienziati sono arrivati alla corretta formulazione con premesse e ragionamenti del

---

<sup>2</sup> Si tratta cioè di minimo tempo, non di cammino più breve. Possiamo avere un massimo di cammino geometrico : il raggio che parte da una sorgente puntiforme A posta sulla circonferenza di una superficie riflettente sferica M R M e che viaggia lungo il diametro A R , dove R è il punto di mezzo di M M , dopo riflessione torna su se stesso percorrendo due volte il diametro. Ogni altro cammino lungo una corda A R' sarebbe minore se il raggio incidente ritornasse su se stesso.

tutto indipendenti e pertanto é corretto chiamare la legge della rifrazione legge di Snell-Cartesio.

Il R.R. Padre Francesco Maria **Grimaldi** ( Bologna, 1618, † ivi, 1663 ) dedicò tutta la vita alla ricerca ed all'insegnamento nel Collegio dei Gesuiti di Bologna dove scrisse un imponente trattato, di oltre 500 pagine *in quarto*, dal titolo *Physico-mathesis de Lumine, Coloribus et Iride aliisque adnexi libri duo*, terminato poco prima della sua prematura morte. Il trattato venne stampato nel **1665**, nello stesso anno in cui comparve la *Micrographia* di Hooke. In esso l'autore si propone di discutere le opinioni ed i risultati in favore sia della *De Substantialitate Luminis* (Opinio aliquorum) che della contraria *De Luminis Accidentalitate* ( Opinio peripatetica, cioè della stragrande maggioranza ! ). Questi propositi di sapore Scolastico non traggano in inganno: Grimaldi fu un eccellente sperimentatore ed i risultati che porta a favore della sostanzialità del *lumen* sono quasi tutti frutto di suoi esperimenti. Nel I Libro, di 470 pagine, considera gli argomenti a favore della sostanzialità, della quale appare chiaramente sostenitore, mentre nel II Libro molto più breve, 60 pagine, dichiara di non potere escludere l'accidentalità. Sincero dubbio o escamotage? Da notare che tra gli argomenti in favore della sostanzialità in Nostro riporta l'effetto di riscaldamento dei corpi ad opera della luce da lui studiato: arrivò a mettere in relazione l'entità del fenomeno col diverso potere assorbente delle sostanze. Stabilito che la luce ( *lumen* ) esiste, egli la considera una sostanza velocissima, fluida e *sottilissima* ; riprenderemo poco sotto questo modello.

Forse non molte persone sono riuscite a leggere per intero il tomo ( tra esse ci fu Newton che cita *Grimaldus* con gratitudine ) ed é possibile che ci siano ancora notizie da scoprire, il lavoro sembra essere una miniera di risultati e considerazioni; atteniamoci a quanto é diventato di dominio comune. Con le sue osservazioni sperimentali Grimaldi arrivò ad una scoperta di importanza veramente fondamentale: la *diffrazione* della luce. “ *Lumen propagatur seu diffunditur non solum directe, refracte ac reflexe, sed etiam alio quodam quarto modo, diffracte* ” . Il termine é stato introdotto da lui ed

é rimasto, nonostante l'avversione di Newton ed altri. Il Nostro studiò la diffrazione causata da ostacoli rettilinei ed accidentati e soprattutto da fori di diametro piccolo. Grimaldi fu infatti forse il primo a vedere l'influenza del diametro delle fenditure sulle caratteristiche delle immagini proiettate nella camera oscura e sulla generazione di colorazioni spettrali dovute alla diffrazione anche se purtroppo non arrivò ad usare fenditure veramente strette. Le esperienze in questo campo da lui eseguite ed *illustrate con figure* sono molte e denotano un'attitudine alla ricerca decisamente moderna. Tentò ovviamente di spiegare la diffrazione, ma riconobbe lui stesso che si trattava di un effetto misterioso. Studiò la dispersione dei colori per rifrazione usando correntemente prismi di varie geometrie. Anche sulla rifrazione e riflessione non portò contributi teorici, pur rendendosi conto dell'assurdità delle posizioni di Cartesio. Vide però sperimentalmente che la percentuale di luce riflessa ( in aria ) aumenta col crescere dell'angolo (i) di incidenza.<sup>3</sup>

Se il *lumen* é sostanza sorge il problema della sua propagazione nei corpi. I " pori " della materia non possono essere vuoti poiché in natura nulla é vuoto; chiaramente il Nostro é sotto l'influenza di Cartesio anche se non lo cita mai. Allora essi o sono pieni di *purus aether* oppure del fluido luminoso di cui sopra, messo in movimento o dalla luce solare o da radiazione proveniente da altri corpi luminosi: in ambedue i casi risulta difficile spiegare la propagazione rettilinea della luce ed ovviamente Grimaldi se ne rende conto. Considera un principio di propagazione per onde sferiche secondarie pur senza arrivare all'inviluppo ( fronte d'onda ) di Huygens, ma proprio lui, scopritore della diffrazione, critica e respinge questo principio con argomenti in presunto accordo coi risultati a sua disposizione, principalmente la rettilineità della propagazione, e curiosamente ne attribuisce la paternità a suoi avversari ( quali? , ovviamente non i peripatetici ). E' comunque da notare che quel certo

---

<sup>3</sup> L'affermazione é corretta anche se solo la componente normale al piano di incidenza dell'intensità del vettore elastico ( elettrico ) é quella che cresce monotonamente con (i) come si può vedere diagrammando in funzione di (i), e per un dato valore dell'indice di rifrazione, i quadrati delle (3)-(3') di destra riportate a pag. 58.

fluido attraversa i " pori " con *velocità finita maggiore nell'aria che nei corpi*. La concezione della luce come qualità ( *accidens* ) era ormai screditata, però la concezione di una sostanza fluidissima, sottilissima e velocissima porta ad altre difficoltà.

Decisamente importante la sua trattazione dei colori che per gli scienziati precedenti erano solo qualità degli oggetti. In base alle sue accurate e numerose ricerche egli può concludere che la luce naturale può assumere colorazioni per opportune riflessioni o rifrazioni o diffrazioni; nessuno dei tre fenomeni é indispensabile per ottenere luce colorata e quindi la modificazione della luce bianca deve avvenire nella luce stessa. Sorprendente é la seguente considerazione sul lumen in connessione con lo studio della natura dei colori: " Lumen videtur esse quid fluidum perquam celerrime et saltem aliquando *etiam undulatum*, fusum per corpora diaphana ". Quindi nei corpi trasparenti <sup>4</sup> il lumen si propaga, almeno qualche volta, per onde che per il Nostro sono *trasversali* rispetto al cammino della propagazione. La varietà dei colori si può ricondurre ad " ondulazioni " diverse: non é improbabile che sia una data *undulatio minutissime crispata* a stimolare l'organo della visione ad una particolare attività . Pertanto le " luci colorate" non sono modi di essere della luce; i colori sono tutti contenuti nella luce bianca e si possono separare, ed anche *ricombinare*, con opportuni esperimenti. Esaminò altresì l'azione della luce bianca sull'occhio e studiò il fenomeno della visione in generale ( immagini postume, soggettività delle osservazioni visive ), ma senza alcun accenno all'immagine retinica ed alle idee di Keplero. Sembra chiaro che, ad oltre 50 anni dalla loro comparsa, i *Paralipomena* fossero sconosciuti, o dimenticati ? , in Italia; la cosa la dice lunga sulle difficoltà sempre maggiori di comunicazioni culturali tra alcuni paesi europei.

Gli importanti risultati di Grimaldi saranno ben conosciuti da Hooke e da Newton, che riprenderà quelli che gli faranno comodo, e poi

---

<sup>4</sup> Attualmente l'aggettivo diafano viene spesso usato come sinonimo di traslucido, pellucido ; per gli autori sin qui citati voleva dire trasparente, secondo una corretta interpretazione dell'etimo.

verranno dimenticati: Fresnel non li conosceva affatto. A questo proposito si può ricordare un altro episodio. Proprio l'anno della "pace" di Westphalen, 1648, il boemo Johannes Marcus Marci von Kronland (1595 - 1667), studioso della natura dell'arcobaleno, pubblicò a Praga il suo *Thaumantias Iris, liber de arcu coelesti, deque colorum apparentium natura, ortu et causis*. In esso sono riportate numerose osservazioni sperimentali (anche sulla diffrazione) e l'autore perviene ad enunciare chiaramente il principio della *corrispondenza biunivoca tra colore e rifrangibilità*. Il risultato è veramente notevole considerata la sua concezione ancora medioevale del colore quale "specie" che si propaga lungo i raggi. Questa corrispondenza sarà una delle scoperte più importanti di Newton che, è certo, non conosceva la Portentosa Iride. Al contrario di Grimaldi e di altri scienziati, Newton non ebbe mai ritegno ad ammettere il suo debito verso autori precedenti. Ad esempio, il 5 Febbraio 1676 scriveva ad Hooke, che era un nano: "Quello di Cartesio fu un buon progresso; Voi avete apportato molto ed in diversi modi.....Se io ho potuto spingere lo sguardo più lontano è perché mi sono issato sulle spalle di giganti". Kronland arrivò anche a vedere l'indipendenza delle colorazioni dall'intensità del fascio incidente mentre per studiosi medioevali i colori *apparenti* generati per rifrazione erano legati all'intensità luminosa del fascio: giallo e verde dovevano vedersi dove il fascio era più intenso mentre rosso e violetto erano dalla parte del buio. Ciò nonostante usa un linguaggio arcaico e parla di raggi portanti lo stesso colore come se quest'ultimo fosse una specie che viaggia lungo i raggi. L'opera di v. Kronland venne completamente dimenticata, sarà ristampata nel secolo scorso in occasione del terzo centenario della morte.