

MARIANO CALLERI

**LINEAMENTI DI STORIA
DELL'OTTICA**

DALLE LENTI USTORIE AI LASER

GIUGNO 2003

Lineamenti di svolte importanti nella storia dell'ottica e della relativa strumentazione Profili di scienziati

Verranno prese in considerazione le svolte più significative riscontrabili nella millenaria storia dell'ottica, all'occasione tratteggiando profili di scienziati autori di importanti contributi. Sarebbe compito estremamente arduo cercare di scrivere una vera storia, vale a dire cercare di uscire dalla trattazione "interna" che caratterizza la maggior parte delle "storie" di una o più discipline scientifiche. Alle difficoltà intrinseche si aggiunge il fatto che gli scienziati, i matematici in primis, sono stati generalmente meno condizionati dall'ambiente sociale in cui operavano rispetto ad altre categorie e quindi le loro ricerche possono essere state in anticipo sui tempi, o viceversa la loro forma mentis essere rimasta in ritardo, anche se gli "scollamenti" si sono andati riducendo a partire dalla fine dell'Ottocento. Ci limiteremo quindi ad un inquadramento storico di alcuni periodi per giustificare anni di intensa ricerca oppure di relativa stasi. La narrazione ha un sapore decisamente europeocentrico non perchè si voglia negare l'esistenza attuale, ed ancor più per il passato, di altre civiltà, ma semplicemente perchè dal XVI a tutto il XIX secolo lo sviluppo dell'ottica, e delle altre discipline scientifiche, è stato opera di studiosi appartenenti alla civiltà Europea Occidentale, la società Cristiano Occidentale di A.J. Toynbee, poi semplicemente Civiltà Occidentale a partire dal periodo post rivoluzione-industriale o addirittura post 1563, alla conclusione del processo Riforma - Controriforma. In campo puramente economico-commerciale, viceversa, dal Cinquecento al Settecento India e Cina furono decisamente superiori e la bilancia commerciale in quei secoli fu largamente deficitaria per l'Occidente.

Capitolo I

Retaggi delle società ellenica ed islamica

L' Europa erediterà dalla civiltà Ellenica un corpus di opere che rappresenta la parte superstite degli scritti di **Euclide** di Alessandria, spesso come traduzioni latine di versioni arabe oppure come traduzioni di originali greci (*vide infra*). Sulla vita di Euclide si sa pochissimo. Certamente fu operoso all'inizio del III secolo durante il regno di Tolomeo Soter (*regnabat* 305 - 284), primo della dinastia dei Lagidi di Alessandria, dinastia che garantì all'Egitto quasi tre secoli di sicurezza e ordine, ma a prezzo di una oppressiva politica fiscale; i contadini egiziani in particolare subirono lo sfruttamento più spietato della loro plurimillennaria storia.¹ Alessandria si sviluppò grandemente sotto Tolomeo Soter che istituì il Museo e la Biblioteca che raggiungeranno il massimo sviluppo già col suo successore Tolomeo Filadelfo (*regnabat* 284 - 246). Museo e Biblioteca divennero i principali centri di studio e di ricerca del mondo ellenistico relegando in secondo piano Accademia, Liceo e le altre famose Scuole di Atene. E' verosimile che Euclide sia stato uno dei maggiori docenti di geometria al Museo. Egli raccolse in modo organico le conoscenze matematiche del suo tempo negli *Elementi*, *Στοιχεῖα*, racchiudenti anche i suoi contributi che è ormai impossibile distinguere da quelli di altri autori. A noi interessano maggiormente altri due libri, *Ottica* o *Perspectiva* (

¹Toynbee, A. J. (1981). *L'eredità di Annibale*, Vol. primo, II, 3. G. Einaudi Ed. Torino. *Id.* (1979) . *A study of history*, Vol. V, (c) 2 . Oxford Univ. Press.

teoria della visione) e *Catoptrica* (teoria delle immagini speculari), questo secondo molto probabilmente opera di un altro autore.

Le due " Ottiche " sono anch'esse dei libri di geometria impostati come gli *Elementi*: 14 postulati aprono l'*Ottica* e 7 la *Catoptrica* cui seguono le proposizioni, "teoremi". Un contributo fondamentale è l'introduzione del concetto di raggio rettilineo che per Euclide è una pura costruzione geometrica, lunghezza senza larghezza (μήκος ἄπλατῆς). I primi due postulati della *Catoptrica* suonano così :

1) *Il raggio è una linea retta di cui i mezzi toccano le estremità;*

2) *Tutto ciò che si vede , si vede secondo una direzione rettilinea.*

Quindi la retta-raggio luminoso si può spezzare (nella riflessione), ma il raggio visuale non si spezza. Il terzo postulato contiene l'enunciazione della legge della riflessione da parte di una superficie piana però esposta in modo indebitamente complicato ([18], pag. 18) e senza notare che raggio incidente e riflesso, e la perpendicolare al piano riflettente nel punto di incidenza, sono coplanari. Più che un postulato, lo si potrebbe definire un assunto da convalidare nel corso della successiva esposizione. Si tratta ad ogni modo di un altro importantissimo contributo.

La distinzione tra raggio luminoso e raggio visuale è decisamente in contrasto col primo postulato dell'*Ottica* (*vide infra* a pag. 6) e con proposizioni varie. Infatti se Euclide non si pone il problema della natura della luce (intesa come *lumen*, τὸ λαμπρόν) come del resto tutti gli autori ellenici, si pone invece il problema della visione (*lux* o *fulgor*, τὸ φῶς) e ritiene che i raggi luminosi si propaghino *dall'occhio verso gli oggetti* osservati. Questa ipotesi risale probabilmente ai Pitagorici che ritenevano la visione dovuta ad un "fuoco" invisibile che uscendo dagli occhi rivelerebbe le forme degli oggetti. Nella *Catoptrica* si parla invece di raggi uscenti dal sole e ci sono altre proposizioni che non si accordano con quelle dell'*Ottica*. Ad esempio si parla di raggi " più lunghi e più corti " responsabili della visione a varie distanze; l'occhio potrebbe apprezzare la lunghezza dei raggi se esso stesso li emettesse? Quindi o i due libri sono di autori

diversi, oppure Euclide doveva ammettere ci fossero più sorgenti di luce, anzitutto il sole.

Interessante, ancora nell'*Ottica*, il postulato, 13°, che afferma che tutti i raggi hanno la stessa velocità (ma fondato su quali osservazioni ??). Le due *Ottiche* contengono poi molte proposizioni di natura fisica o fisiologica che non sono ormai di alcun interesse.

Boyer ([7], pag. 121) definisce la prospettiva come geometria della visione diretta (ha ancora significato simile espressione ?) e afferma che l'*Ottica* di Euclide è uno dei primi trattati di prospettiva. A dire il vero solo il secondo postulato può ricordare il termine prospettiva nell'accezione odierna. Il termine *perspectiva* non deriva da *prospicere*, guardare innanzi, bensì da *perspicere*, discernere - guardare dentro, e ci sembra che gli antichi traduttori abbiano fatto una scelta felice visto il contenuto dell'opera euclidea. Bisogna però notare che per molti autori medioevali *perspectiva* voleva semplicemente significare l'ottica in senso lato. Comunque la *Perspectiva*, teoria della visione, non anticipa di certo Leon Battista Alberti e Piero della Francesca.

Euclide rimane senz'altro il più rappresentativo studioso ellenico di ottica anche se nei due secoli precedenti (IV e V) vi erano stati diversi altri autori interessati ai problemi della visione e che in genere avevano condiviso l'ipotesi dell'emissione di raggi da parte dell'occhio. Però Leucippo e Democrito (V secolo), e tutti gli atomisti, assunsero che la causa dei fenomeni visivi fosse dovuta ad un *quid* che si muove dagli oggetti luminosi verso l'occhio senonchè per essi si tratta di intere immagini, scorze, che si staccano dagli oggetti. Questa teoria sarà accettata anche da Epicuro. La figura di Leucippo, nella tradizione a noi pervenuta, è rimasta sminuita da quella di Democrito, pensatore certo più importante, ma è probabile che la teoria sia dovuta a lui e che sia stato proprio Leucippo ad usare per primo il nome εἰδολον per questi simulacri.² Forse a Democrito (ca. 460 – 360) si

² Tutte le notizie che si sono potute recuperare su questi due pensatori e sugli altri Presocratici si trovano esposte in Diels, H. & Kranz, W. : *I Presocratici* (a cura di G.

deve un'ulteriore ipotesi : l'aria interposta tra l'occhio e l'oggetto riceve l'impronta del simulacro come conseguenza della compressione esercitata su essa dall'occhio e dall'oggetto (?). Esisterebbe quindi un mezzo di trasmissione anche se la sua funzione non è affatto chiara; l'impronta si formerebbe sul liquido che ricopre la cornea.

Aristotele (384 - 322) demolisce le ipotesi di Leucippo e propone come causa della visione un "movimento " che si propaga dall'oggetto all'occhio, modificando lo stato dei corpi diafani; critica anche le posizioni di Platone, accennate a pag. 89, analoghe a quelle di Empedocle. La propagazione della luce (*lumen*) avviene dunque tramite un non meglio definito mezzo, che pervade ogni cosa, eccitato dai colori del corpo in osservazione, dal fuoco od anche dall'etere ! Αιθήρ il luminoso figlio della Notte e fratello del Giorno, con Aristotele divenne un quinto elemento, nè leggero nè pesante nè soggetto a cambiamenti, costituente sia i corpi celesti che le sfere celesti sopra quella lunare dotate di moto circolare naturale. Questo bizzarro ente, poi disceso dai cieli in terra, sopravviverà alla cosmologia aristotelica, proteiforme fantasma come vedremo.

Molto più tardi Lucrezio (ca. 98 – 54) riprese l'ipotesi di Leucippo e Democrito ed introdusse la distinzione verbale tra *lumen* e *lux*, pur usando i due termini indifferentemente; *lux-fulgor* e *lumen* verranno usati promiscuamente anche da altri autori. In qualche passo del *De rerum natura* sembra assumere che l'agente del distacco dei simulacri dai corpi sia un qualcosa emesso dal sole.

Sarebbero da ricordare anche Erone di Alessandria (I secolo a.C.) di cui ci è pervenuta la traduzione latina di una Catottrica e Claudio Tolomeo (Alessandria , II secolo d.C.) autore di un trattato di ottica giunto sino a noi in una traduzione latina, incompleta, dall'arabo. Si tratta di lavori solo in piccola parte basati su osservazioni sperimentali. Di questi autori sono molto più importanti i contributi all'astronomia, geografia e meccanica. Tuttavia di Tolomeo è da ricordare il tentativo di spiegare il potere di ingrandimento delle sfere di

Giannantoni). Laterza Ed., Bari, 1969 ; ristampa CDE, Milano, 1994. Si vedano le pagg. 659, 697, 711, 715.

vetro riempite d'acqua, fenomeno noto dall'antichità, e la compilazione di una tabella di valori angolari abbastanza precisi per la rifrazione aria → acqua; anche Tolomeo accettava l'ipotesi dell'emissione di raggi da parte dell'occhio.

L'ascesa della Macedonia a partire dalla metà del IV secolo portò non solo alla disgregazione del gigantesco impero Achemenide, ma alla diffusione della civiltà e cultura greche in tutta l'Asia Minore, nella Siria (in senso lato) e in Egitto e rese possibili proficui regolari contatti tra culture diverse che favorirono un notevole sviluppo scientifico nei domini dei diadochi del Macedone. La campagna di Alessandro Magno in India occidentale (327 – 325) era stata contemporanea all'affermarsi della dinastia Maurya che riuscì ad unificare quasi tutto il subcontinente indiano. Durante tutto il periodo della dinastia Maurya (320 - 185) ed oltre, i rapporti con l'Occidente furono continui; i rapporti commerciali tra l'Impero Romano e l'India furono intensi anche nel primo secolo d.C. Notevoli furono infatti gli apporti della cultura ellenistica alla scultura indiana (del Gandhâra) e forse allo sviluppo del Buddismo Mahâyâna, tramite i regni Indo – Greci, o di Barbari ellenizzati, delle regioni nord-occidentali (*ved.* App. 1, pagg. 9 e seg.). Certamente fu di grande importanza per i matematici indiani la conoscenza delle opere degli autori ellenisti. Dopo il tramonto della dinastia Gupta (300 - 500 d.C. , che portò a termine una parziale rinascita dello stato universale della società indiana), ad opera degli Unni Eftaliti ed altri nomadi eurasiatici, si verifica un progressivo attenuarsi della produzione scientifica indiana. I rapporti coll'Occidente, prostrato dalle invasioni barbariche, e con Bisanzio diventeranno tenui ed indiretti tramite Iranici ed Arabi. Saranno invece di estrema importanza nei secoli seguenti i rapporti tra gli studiosi di religione islamica e la cultura indiana per quanto riguarda l'aritmetica, l'algebra, la trigonometria e l'astronomia; per quanto riguarda l'ottica in senso stretto non sembra esserci alcunchè da segnalare. Tenui furono i rapporti dell'Europa con la civiltà Sinica sino al Quattrocento ed anche qui l'ottica non ricevette alcun apporto; sembra che solo nel 1835 sia stato stampato in Cina un trattato di ottica.

Ci sono voluti circa centocinquant'anni dalla morte di Muhammad (632) perchè l'arabo *parlato* si arricchisse di espressioni e vocaboli anche adattando termini di altre lingue (greco e siriano perlopiù), e ne venisse codificata la grammatica, in modo da essere adatto per la stesura di testi scientifici, originali e traduzioni, e per la stessa canonizzazione della primitiva catechesi orale del Profeta. Con la fondazione del Califfato 'Abbaside di Baghdad (ca. 750) ha inizio nel mondo islamico, politicamente unito anche se turbato da endemici sussulti, un lungo periodo di feconda attività di ricerca e di pubblicistica: a partire dal IX secolo vengono infatti tradotti in arabo, ebraico e neo-persiano moltissimi testi greci e siriani, con quasi esclusiva attenzione a scritti di contenuto scientifico o filosofico. A partire dalla metà dell'ottavo secolo in tutti i domini abbasidi si costituisce una cultura comune che si deve chiamare arabo islamica; la lingua araba ne è il veicolo comune e sarà la lingua degli scienziati e letterati per almeno due secoli. Nel primo secolo del califfato troviamo delle personalità eccezionali come i Califfi al-Manşūr, Hārūn ar-Rashid ibn al-Mahdi, al-Ma'mūn ibn Hārūn ar-Rashid (*pontificabant* 754 – 775, 786 – 809, 813 - 833), grandi mecenati specialmente l'ultimo.

Sino al X secolo il centro della cultura araba fu senz'altro Baghdad fondata sul Tigri nel 762 proprio come capitale 'Abbaside, a poca distanza da Ctesifonte l'antica capitale Arsacide e poi Sasanide, e diventata una vera metropoli. Nei due secoli tra il 750 e 950 ca. uno studioso poteva spostarsi dalla Corasmia all'Algeria, il Dār al Islām dell'epoca, senza sentirsi straniero. Sempre alquanto separato rimase invece il Maghrib (l'Ovest = Marocco). Il settimo califfo al-Ma'mūn ibn Hārūn ar-Rashid fondò a Baghdad una " Casa del Sapere " simile al Museo di Alessandria. L'Euclide baghdadi fu Muhammadi ibn Mūsā al-Khwārizmi originario della Transoxania († *ante* 850) cui si devono, tra l'altro, i termini *algebra*, di etimologia controversa, ed *algoritmo*, deformazione del suo cognome. Assieme ai suoi contributi egli ci trasmise il sistema di numerazione indiano (erroneamente poi detto arabo) ed altre conquiste della matematica indiana; al-Khwārizmi è una figura di importanza fondamentale nella storia della matematica, cf. [7], pagg. 266 – 274.

Il X secolo vedrà una vigorosa rinascita persiana. Nella parte iranica della società islamica l'arabo rimane ancora la lingua della scienza e teologia, ma per la letteratura viene ripresa la lingua parlata, Farsi, derivata dal medio pehlevi, con l'introduzione di un alfabeto arabo opportunamente modificato e l'accatto di un notevole numero di vocaboli arabi. Con l'aggettivo iranico si può intendere qui anche la Mesopotamia (Jezireh).

I primi traduttori di testi greci furono Siriani neoconvertiti o Cristiani, cosicchè potrà essere necessario ritradurre in arabo i testi eventualmente tradotti in siriano! ; il siriano scritto era molto più usato dell'arabo nel secolo VIII, per i motivi poco sopra accennati. Questo, ad es., fu il destino delle opere di Galeno di Pergamo (II sec. d.C.) tradotte nel IX secolo ([18], pagg. 43-44). Il recupero di questi scritti ebbe notevole importanza per l'ottica fisiologica poichè Galeno fu il primo a studiare sistematicamente la struttura dell'occhio. Le traduzioni e ritraduzioni in e dal pehlevi saranno invece opera di cristiani nestoriani o monofisiti oppure di zoroastriani. L'attività pubblicistica, in seguito accompagnata da commentari, continuerà sino al XIII secolo coinvolgendo in modo decisivo anche i paesi più occidentali del Dār al Islām che non fecero mai parte del Califfato Abbaside (App. 1, pagg. 4-6) .

Molto importanti ed interessanti per noi sono i contributi di due scienziati mesopotamici, studiosi di ottica e filosofia, che divennero noti in Occidente sotto i nomi volgarizzati ed abbreviati di Alkindi ed Alhazen.

Alkindi (Abū Yūsuf Yallub ibn Ishāq) , operoso a Baghdad tra 813 – 873 ca., fu il primo commentatore di Aristotele in arabo. Era medico e, tra le sue numerose opere, interessa la storia dell'ottica quella che nella traduzione in latino porta il titolo *De Aspectibus* ed il cui titolo originale è: *Epistola sulla varietà delle visioni*. E' molto probabile che Alkindi conoscesse l'*Ottica* e la *Catoptrica* di Euclide; la sua introduzione della nozione di raggio rettilineo è comunque rigorosa e parte non da assiomi, ma da osservazioni. Per Alkindi il raggio

geometrico è un'astrazione mentre i raggi fisici, pur propagandosi rettilineamente, devono essere qualcosa di materiale, devono avere un " corpo " dato che interessano il nostro sistema visivo partendo dagli oggetti luminosi od illuminati e non viceversa. E' da ricordare la sua razionale distinzione tra *lumen*, l'agente luminoso, la radiazione e *lux*, l'effetto dell'illuminazione. Non porta a termine l'analisi della formazione delle immagini eseguita circa un secolo dopo da **Alhazen** (Abū 'Alī ibn al-Hàitham, Bassora, 965 ca. † Il Cairo, 1039) anch'egli mesopotamico che però passò buona parte della sua vita in Egitto. Fu uno dei molti traduttori islamici di opere scientifiche dal greco. Scrisse diverse opere (epistole, discorsi, libri) sui fenomeni ottici tra le quali : *Epistola sulla luce* e il *Libro dell'ottica*. In manoscritti tardo medioevali il secondo porta anch'esso il titolo *De Aspectibus*. Fu un sostenitore dell'approccio sperimentale e dell'impiego della matematica in fisica. Per Alhazen l'occhio non può "sentire" l'oggetto se non per mezzo di raggi che questo gli invia *con velocità finita*; anche per lui i raggi luminosi devono avere un'esistenza reale perchè la luce intensa danneggia gli occhi e può generare immagini persistenti. Risolve il plurisecolare problema di fare entrare nell'occhio oggetti grandi come le montagne nel seguente modo. Studiò il passaggio del *lumen* attraverso i corpi trasparenti ed in particolare attraverso il cristallino dell'occhio. Conosceva la struttura dell'occhio tramite Galeno e aveva nozione delle tuniche della cornea. Aveva studiato la rifrazione, di cui intravvide la legge, da parte di vetri sferici e cilindrici ed anche la riflessione e l'assorbimento. Mise in evidenza come tra i raggi divergenti emessi dai vari punti di una sorgente luminosa uno solo incida perpendicolarmente sulle tuniche concentriche della cornea e le attraversi senza essere rifratto viaggiando lungo una diagonale del bulbo. Tutti gli altri raggi vengono rifratti e, secondo lui, perdono gran parte della loro efficacia. Quindi da ogni punto dell'oggetto luminoso arriva ad un punto della retina un solo " raggio efficace ". Questa corrispondenza biunivoca giustifica la suddivisione in punti degli oggetti luminosi. La sua analisi dell'aspetto geometrico della formazione delle immagini lo portò a scoprire come le immagini degli oggetti si formino capovolte sulla retina, effetto che ovviamente lo

lasciò perplesso. Per risolvere il dilemma, abbandonò l'esperienza ed invocò una ipotesi del tutto errata: il nostro sistema visivo sentirebbe l'immagine quando essa si forma (?) sulla prima superficie del cristallino. I procedimenti di Alhazen non sono ovviamente del tutto accettabili in base ai nostri standard, però è evidente l'enorme progresso rispetto agli studiosi greci. Viene anzitutto definitivamente demolita la vecchia teoria delle scorze, od èidola, immagini di interi oggetti che dovrebbero staccarsi dagli stessi ed entrare nella piccola pupilla dell'occhio, ed è anche grandissima la distanza dagli studiosi ellenisti. Basta infatti ricordare, ad esempio, i primi due postulati dell'Ottica di Euclide:

1) *I raggi emessi dall'occhio procedono per via dritta ;*

2) *La figura compresa tra i raggi visivi è un cono che ha il vertice nell'occhio (espressione molto generica) e come base il contorno dell'oggetto osservato ;*

allora vediamo solo oggetti di contorno circolare ? per Tolomeo il cono di Euclide diverrà una piramide. Approssimare " l'occhio " ad un punto, come fa Euclide, sarà un artificio utile per le costruzioni di prospettiva vera e propria, ma non ha significato in ottica fisiologica.

A scanso di equivoci, va detto che Alhazen non giunse assolutamente alle definizioni di asse ottico di un sistema e delle relazioni geometriche tra punti oggetto e punti immagine. Inoltre attribuisce i colori a "radiazioni secondarie" che si dipartono dagli oggetti colorati quando questi sono illuminati da "fonti primarie". Egli si può comunque ritenere l'iniziatore dell'ottica fisiologica. Verbalmente non seguì la distinzione tra *lumen* e *lux* che ovviamente tenne ben precisa nella pratica. Forse per primo studiò la "camera oscura" ed i suoi esperimenti lo condussero ad enunciare un principio che avrebbe messo in difficoltà i corpuscolari di otto secoli dopo. Poste più candele di fronte ad un ostacolo con un foro, egli notò come si vedessero, al di là dell'ostacolo, altrettante immagini di candele e come, rimossa una candela, la sua immagine scomparisse per ricomparire al suo posto una volta rimessa la candela. La sua, corretta, interpretazione del fenomeno è : " Se fosse vero che le luci (raggi) si mescolano con

l'aria, si dovrebbero mescolare con l'aria del foro che quindi attraverserebbero dopo il mescolamento ed allora esse non sarebbero più distinguibili. Non abbiamo ritrovato ciò ". Vale a dire che risulta dimostrato come le radiazioni luminose seguendo le loro traiettorie rettilinee possano incrociarsi senza " interferire" . Nell'Evo Moderno fu il primo a mettere in evidenza come la luna riceva l'illuminazione dal sole e la ridiffonda.³ Di lui si deve ancora ricordare il problema detto appunto di Alhazen : trovare su uno specchio il punto in cui la radiazione proveniente da una certa sorgente verrà riflessa verso l'occhio dell'osservatore di cui si conosca la posizione. Egli risolse analiticamente il problema per uno specchio sferico mediante un'equazione di quarto grado ma ne trovò la soluzione anche con un metodo geometrico basato sullo studio di sezioni coniche. A proposito di queste va ricordato che Alhazen ricostruì l'ottavo libro delle *Coniche* di Apollonio. Apollonio di Perga aveva scritto le *Coniche* in otto libri; i primi sette furono tradotti dal greco in arabo da due diversi studiosi arabi nel IX secolo, ma l'ottavo era andato definitivamente perso.

A proposito di mezzi sferici, è da ricordare uno strano caso: sino alla fine del Cinquecento, si può dire, l'interesse degli studiosi della rifrazione fu attratto da vetri cilindrici e specialmente sferici, la *pila crystallina*, anzichè da piccole calotte rifrangenti o riflettenti. Lo studio ottico di una sfera implica, dal punto di vista sperimentale, gravi complicazioni dovute ad aberrazioni.

In Occidente già nel sesto secolo la coltivazione del greco, nonchè delle Scienze, era diventata cosa rara; l'ultimo studioso padrone della lingua greca fu probabilmente Severino Boezio (Anicio Manlio Torquato, Roma, 480, † Pavia, 526) traduttore in latino delle opere di Aristotele, degli *Elementi* ed autore di sillogi sull'aritmetica e sulla

³ Nell'antichità alcuni presocratici avevano ipotizzato questo effetto: forse Talete di Mileto (VII – VI sec.), certamente Anassagora (500 ca. - 428 ca.). In un contesto sperimentale, Aristarco di Samo (310 ca. - 230 ca.) riprese l'ipotesi nel breve scritto: *Sulle dimensioni e distanze del sole e della luna*, l'unica sua opera pervenutaci integralmente. E' però improbabile che Alhazen la conoscesse. Aristarco cercò di dimostrare i movimenti di rotazione e rivoluzione della terra.

musica, opere poi andate perse od ignorate per secoli. Nei secoli X – XI la Civiltà Occidentale era ancora in fase di gestazione anche se in campo architettonico venivano realizzate creazioni eccelse e denotanti una cultura unitaria. La scoperta dei testi scientifici dell'antichità e degli autori mussulmani ha comunque inizio alla fine del secolo XI principalmente in Spagna. Nel 1085 cadeva Toledo, nel 1093 Valencia (principato del Cid Campeador) e verso il 1090 si può considerare compiuta la conquista della Sicilia da parte dei Normanni; fu in queste regioni che l'Occidente poté stabilire contatti fruttuosi con la cultura islamica (App. 1, pagg. 1, 4-6, 11). Ad esempio in Sicilia furono tradotti nel XII secolo, dal Greco in Latino, *l'Ottica* e la *Catottrica* di Euclide e *l'Almagesto* di Tolomeo. Ci furono anche dei traduttori trilingui (Arabo, Greco e Latino) come Adelardo di Bath (1075 – 1160 ca.) che tradusse dall'arabo in latino gli *Elementi* e le tavole astronomiche di al-Khuwarizmi e dal greco in latino *l'Almagesto*; anche *l'Ottica* di Tolomeo fu tradotta dall'arabo in latino. Il più infaticabile dei traduttori fu senz'altro Gherardo da Cremona († 1187) che andò a vivere a Toledo dove tradusse dall'arabo *l'Almagesto*, le opere di fisica e gli *Analitici secondi* di Aristotele, gli *Elementi* di Euclide, il *De Aspectibus* di Alkindi, *l'Algebra* di al-Khuwarizmi nonché molti trattati di medicina, di Galeno e di altri autori. Un altro insigne traduttore fu il domenicano fiammingo Guglielmo di Moerbeke (1215 ca. – 1286), Arcivescovo di Corinto. Udito il suo confratello ed amico Tommaso d'Aquino lamentarsi dell'inadeguatezza delle traduzioni dall'arabo in latino delle opere di Aristotele, passò la sua vita a tradurre manoscritti greci non solo di Aristotele, ma anche di suoi commentatori della tarda antichità. Tradusse inoltre quasi tutto Archimede e suoi commentatori e si può dunque ritenere il maggior traduttore del tredicesimo secolo alla fine del quale erano venuti a fare parte della cultura occidentale molti classici greci ed arabi, come i trattati di filosofia naturale di Aristotele ed i relativi commenti di Alkindi, Avicenna (Abū 'Alī al-Husein ibn Sinā, Buchara, 980 , † Hamadān, 1037), al Ghazālī (Tus, Iran, 1058 – 1111) e soprattutto del Commentatore di Aristotele per antonomasia, Averroè (Muhammad ibn Ahmad ibn Rushd, Córdoba, 1126, † Marrakech, 1198). Alla fine del XIII secolo l'Europa

possedeva inoltre i testi delle matematiche greche ed orientali, grazie ai traduttori, nonché i contributi di un primo gruppo di matematici medioevali tra i quali spicca la figura del *filii Bonaccii*, Leonardo Pisano († 1250).

La rinnovata conoscenza dei classici non si può dire sia stata di sprone diretto alla ricerca scientifica quale si intende oggi. La filosofia naturale di Aristotele non poté essere rinnovata per dare vita ad un aristotelismo più vitale, ma servì piuttosto per temi di una serie interminabile di *questiones* e *disputationes* nelle Università dove più che ricerca si faceva dell'oratoria. Tuttavia gli studiosi di varie estrazioni ne trassero schemi logici e terminologie comuni, cosa di indubbia importanza. Abbiamo appena menzionato le Università, istituzioni *peculiaris* della Civiltà Occidentale ed impensabili nelle Società Ortodossa ed Islamica ed anche Hindu sia pure per ragioni un pò diverse. Questi centri di studio collettivi presuppongono infatti la separazione di Chiesa e Stato, ambedue disposti a riconoscerne l'autonoma esistenza, magari sotto una parziale tutela. Nell'Europa Occidentale questa separazione si mantenne accompagnata da un fruttuoso " compromesso " tra verità rivelate e la filosofia e scienze greche. Le Università ebbero una importanza decisiva per la trasmissione delle conoscenze destinate a gruppi consistenti di persone, mentre nelle altre società i cultori di Scienze furono personalità isolate che dovevano confidare nella benevolenza di potenti. Le Università favorirono inoltre gli scambi di studenti e studiosi da un paese all'altro, funzione di importanza non trascurabile.

Il termine *Universitas* stava originariamente ad indicare qualsiasi corporazione con regolare statuto e tra queste c'erano dall'inizio del Duecento delle *Universitates magistrorum et scholarium*; nel corso del secolo il termine Università verrà, di regola, applicato solo agli enti di istruzione superiore. Le Università con tutte le Corporazioni (≈ Facoltà) avevano il rango di *Studium Generale* (Bologna, Parma, Padova, Parigi, Oxford le primissime) ed ai loro laureati era conferita la facoltà di insegnare dovunque, *ius ubique docendi*. Ovviamente non esistevano ordinamenti comuni a tutte le

Università, tuttavia molte di esse si articolavano in quattro Facoltà : Arti (trivio-quadrivio) che dava i fondamenti ed era la *fons et origo ceteris*, Teologia, Diritto e Medicina. Per potere frequentare le tre Facoltà superiori era in genere necessario conseguire in quella delle Arti non il semplice baccellierato, ma il diploma di maestro che implicava una frequenza di 4 o 5 anni ed altrettanti o più erano necessari per arrivare alla laurea nelle tre Facoltà superiori; è però da notarsi che normalmente si accedeva all'Università all'età di 16 anni. Due delle quattro Arti del *Quadrivium*, aritmetica e geometria, chiaramente si arricchirono in seguito al recupero della scienza greco-araba; l'astronomia divenne quella di Aristotele e la musica continuò per conto proprio. Purtroppo il quadrivio a poco a poco venne a trovarsi in posizione subordinata alle filosofie aristoteliche: filosofia naturale, filosofia morale e metafisica. Delle tre arti originali del *Trivium*, logica, grammatica e retorica, rimase importante solo la logica ed un *curriculum* della facoltà delle Arti finì per articolarsi in logica, quadrivio e le tre filosofie, la più importante delle quali divenne la *filosofia naturale* anche per il fatto che i traduttori furono essenzialmente interessati ai testi scientifici. Si ebbe un inevitabile processo di fossilizzazione nonché l'instaurarsi di una mentalità apodittica che precluse la formazione di sperimentatori a parte i frequentatori delle Facoltà di Medicina. I *curricula* delle Facoltà delle Arti inoltre non venivano minimamente incontro alle esigenze pratiche della società tardo medioevale. Le Università persero molta della loro importanza dal Quattrocento in poi, per riprenderla nel corso dell'Ottocento. La importanza delle Università quali centri di trasmissione delle culture ellenistica ed araba, e più tardi di stimolo a rinnovamenti, risulta comunque evidente dal semplice confronto con le Società Cristiano Ortodossa e Islamica. I Bizantini non avevano nemmeno da preoccuparsi di traduzioni dal Greco classico! eppure i loro contributi alle Scienze saranno nulli; bisogna ammettere che Bisanzio fu quasi perennemente sotto lo stress di tentate invasioni e guerre con i nuovi stati balcanici il che indubbiamente ne polarizzò grandemente le energie. Per quanto riguarda l'Islàm, dopo tre secoli di esaltanti conquiste, verso la metà del X secolo ebbe inizio la stasi della

Società Islamica del Califfato Baghdadi, (ved. App.1), accompagnata dal progressivo isterilimento in campo scientifico. Vi furono dei pensatori di religione islamica che stimarono pericolose per i credenti la filosofia naturale di Aristotele od addirittura la matematica. Al Ghazālī (1058 – 1111) riteneva pericolosa la matematica perchè induceva a credere che tutte le proposizioni filosofiche dovessero essere nitide e seducenti come quelle matematiche. Ibn Khaldun (1332 – 1406) ammoniva che solo dopo avere approfondito le scienze religiose musulmane un credente avrebbe potuto interessarsi di filosofia e, quanto alla fisica, che essa non ha alcuna importanza per le pratiche religiose e che quindi si sarebbe dovuto disinteressarsene, *sufficit*.

La caduta della seconda Roma (1453) accentuò la fuga verso l'Occidente di centinaia di eruditi bizantini autori di numerosissimi scritti di contenuto umanistico la cui conoscenza ebbe un certo influsso sulla cultura europea, ma non sul progresso delle Scienze. In quel torno di anni si ebbe inoltre l'invenzione e la fulminea diffusione in Europa dell'arte della stampa a caratteri mobili che facilitò in modo inestimabile la propagazione delle conoscenze. La Civiltà Occidentale rimase per il momento, e per un bel numero di anni a seguire, l'unica in grado di sviluppare scienze e tecnologie che si affermeranno in tutto l'ecumene, fenomeno sinora unico nella storia delle civiltà che conta più di cinque millenni. Le altre civiltà o si erano disintegrate od erano ormai del tutto sterili per quanto riguarda la coltivazione delle scienze escludendo l'architettura (cf. App. 1).

I libri di Alkindi ed Alhazen si diffusero molto lentamente in Europa; bisognerà attendere il Cinquecento prima di assistere alla rinascenza di una scienza ottica degna del nome. Tuttavia è da registrare, in questo secolare intermezzo, una invenzione importantissima sia per le applicazioni immediate che per altre stimolate indirettamente: si tratta dell'invenzione degli occhiali, dapprima per correggere la presbiopia e poi, due secoli dopo!, per correggere la miopia. Le lenti convergenti erano note dall'antichità; nelle *Nuvole* di Aristofane, andate in scena

per la prima volta durante le Grandi Dionisiache del 423, si può infatti leggere un dialogo tra Socrate e Strepsiade di cui riportiamo due battute (2° Episodio, prima della 2^a antistrofè) :

Strep. Hai mai visto dai farmacisti quella pietra bella e trasparente con cui si accende il fuoco?

Soc. Vuoi dire il cristallo ?

Quindi le lenti convergenti usate erano oggetti facilmente reperibili sul mercato, usate correntemente, ed il commediografo le ritiene familiari sia a Socrate che all'artigiano Strepsiade. Però stranamente rimasero un oggetto di produzione artigianale e apparentemente non attrassero l'attenzione degli scienziati sino alla fine del XVI secolo (perchè non ne capivano alcunchè ?); Euclide le ignora. Lo stesso popolare nome *lente*, dal legume *lenticchia*, è spia di questa origine; le lenti divergenti saranno invece dette *vetri cavi*, dato che non sono mai state ottenute lenticchie a facce concave. Quando le lenti vennero finalmente studiate con metodo, fu loro affibbiato il nome aulico di *specilla*, presto abbandonato.

Per quanto riguarda la " luce " il Basso Medioevo rimane dunque un'epoca buia. Basti pensare al grande favore tributato all'Avicenna riesumatore degli antichi simulacri da lui smaterializzati e chiamati *specie* o forme superficiale dei corpi. Per molti cultori medioevali di ottica fisiologica la *lux* assumeva inoltre delle connotazioni teologiche la cui considerazione esula dal presente racconto. E' però da ricordare che Roberto Grossatesta (1175 - 1253), vescovo di Lincoln e cancelliere dell'Università di Oxford, diede inizio, appunto ad Oxford, ad un movimento che possiamo dire scientifico; egli fu forse il primo ad interessarsi del potere di ingrandimento e di riduzione degli oggetti da parte di lenti convesse. Greathead ebbe tra i suoi discepoli il francescano Ruggero Bacone (Roger Bacon o Bachon, ca. 1214 - 1293), *Doctor mirabilis*, commentatore delle opere a carattere scientifico di Aristotele ed estimatore di Alhazen. Bacone studiò riflessione e rifrazione e fu il primo, forse, a descrivere il funzionamento delle lenti quali strumenti di ingrandimento e per

correggere la presbiopia (~ 1249). Egli fu uno dei pochi dotti medioevali ad affermare che le dimostrazioni sillogistiche portano a conoscenza solo se confortate dai risultati di esperienze. Purtroppo gli elementi antiaristotelici contenuti nei suoi *Opus majus, minor e tertium* ed alcune tesi relative all'astrologia furono condannate come eretiche dal Padre generale dei Francescani, un tale Gerolamo di Ascoli, che nel 1277 lo fece imprigionare a vita.

Una cosa è l'invenzione delle lenti ed un'altra quella degli occhiali o, a maggior ragione, di strumenti ottici. Appunto a causa del protratto disinteresse degli studiosi è difficile fissare delle date precise. Comunque sembra accertato che gli occhiali per presbiti fossero già diffusi nell'ultimo quarto del XIII secolo e che verso il 1460 a Firenze notoriamente si producessero buone lenti per miopi. Secondo tradizione, addirittura Ruggero Bacon sarebbe stato l'inventore degli occhiali per miopi, ma la notizia è dubbia. Più verosimilmente la paternità dell'impiego delle lenti divergenti è da attribuirsi al cardinale **Cusano** (Nicola Krebs o Chrypffs, Cues presso Treviri, 1401, † Todi, 1464), filosofo e matematico tedesco che descrisse lenti concave verso il 1451. La scoperta delle lenti divergenti è stato certamente un evento di fondamentale importanza. La loro applicazione per correggere la miopia fu probabilmente frutto del caso ed è un vero peccato che nulla si sappia di preciso in proposito.⁴

⁴ La prima raffigurazione di un personaggio che porta occhiali è dovuta a Tommaso da Modena autore di piacevoli affreschi nella sala capitolare dei Domenicani nel seminario vescovile di Treviso (1352 ca .). Si tratta del ritratto di un Domenicano che porta occhiali per leggere con le lenti sostenute da una elegante montatura tipo pince-nez; in un altro affresco è rappresentato un frate che impugna una lente di ingrandimento. Nella cappella marchionale della chiesa di San Giovanni in Saluzzo si può invece vedere la scultura di un profeta rannicchiato, opera di Antonio Moiturier allievo di Klaus Sluter, che porta occhiali con le montature delle lenti incastrate nelle orbite. La scultura è databile al 1470 ca. e si trova nella nicchia di destra, nell'angolo a sinistra; lenti convergenti o divergenti?