

Alma Mater Studiorum - Università degli studi di Bologna

FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E NATURALI

Corso di Laurea Specialistica in Matematica

L' Ottica di Euclide
e la scienza della visione

Tesi di Laurea in Storia del pensiero scientifico

Relatore:
Chiar.mo Prof.
SANDRO GRAFFI

Presentata da:
FEDERICO M.
BERNARDI

III Sessione
Anno Accademico 2008-2009

Indice

Introduzione	pag.	3
Capitolo 1: L'ellenismo		7
1.1 Premessa		7
1.2 La civiltà ellenistica		8
1.2.1 Momento storico, ambiente economico e sociale		8
1.2.2 Sviluppo culturale, scientifico e tecnologico		11
1.3 La scomparsa della civiltà e della scienza ellenistica		15
1.4 La scienza ellenistica		20
1.4.1 Le teorie scientifiche, il metodo dimostrativo, le concezioni linguistiche, l'osservazione dei fenomeni, il rapporto con la tecnica		20
1.4.2 La matematica ellenistica		25
1.4.3 La filosofia della scienza		29
1.4.4 Gli scienziati ellenistici		31
Capitolo 2: Erofilo: la nascita della scienza medica, l'oftalmologia e la scienza della visione		35
2.1 Premessa		35
2.2 Le fonti		35
2.3 La scienza medica		37
2.4 L'oftalmologia e l' <i>Ottica</i>		42

Capitolo 3: Euclide e l' <i>Ottica</i>	47
3.1 La vita	47
3.2 Le opere	49
3.2.1 Gli <i>Elementi</i>	49
3.2.2 Altre opere	52
3.3 L' <i>Ottica</i>	55
3.3.1 La scienza della visione	55
3.3.2 Il problema delle trascrizioni: concezioni filosofiche ed errori interpretativi	59
3.3.3 Percorso storico e bibliografico	64
3.3.4 Un approfondimento: il commento di Ovio alla prefazione di Teone ed il giudizio di Ver Eecke	74
3.3.5 Le premesse	80
3.3.6 I teoremi	91
3.4 Applicazioni dell' <i>Ottica</i>	110
3.4.1 Applicazioni astronomiche e strumenti topografici	110
3.4.2 Le arti figurative e la prospettiva	111
Conclusione	117
Allegati	125
Bibliografia	141

Introduzione

La presente tesi sul trattato di ottica scritto da Euclide si colloca nel filone delle ricerche volte a ricostruire la verità storica ed il contenuto scientifico del pensiero dello scienziato ed a meglio illustrare i contributi dati alla conoscenza del fenomeno visivo dalla scienza ellenistica.

Euclide di Alessandria, vissuto nel III secolo a.C., è uno degli autori più letti nella storia dell'umanità. La sua principale opera di matematica, gli *Elementi*, dopo la Bibbia è l'opera più diffusa e studiata nel mondo da ben ventitré secoli.

La geometria euclidea è rimasta a lungo il fondamento dell'insegnamento della matematica. Euclide e la sua geometria sono conosciuti da tutti, anche se la generalità delle persone non sa neppure in che secolo l'autore sia nato e anche se la sua opera è sempre stata studiata come una realtà avulsa dalla storia e dalla cultura a cui appartiene e da cui è stata generata, a causa della rimozione dalla memoria storica del periodo ellenistico e della rivoluzione scientifica sviluppatasi nel III secolo a.C.

L'*Ottica*, diversamente dagli *Elementi*, non rielabora conoscenze pregresse, è un'opera del tutto originale di Euclide e probabilmente il primo trattato di ottica geometrica che sia mai stato scritto.

La teoria che Euclide vi espone, ancor oggi base geometrica dello studio della visione, è frutto di osservazione fenomenologica matematicamente fondata. Il regresso della cultura scientifica, seguito all'epoca ellenistica, non permise per secoli di comprendere il metodo scientifico utilizzato dallo Stichiote per indagare il mondo della visione. Nel corso della storia furono attribuiti all'opera "errori" che la fecero considerare in parte "sbagliata", e dunque meno interessante, da alcuni studiosi e commentatori. Nonostante i meriti ed il genio riconosciuti dalla storia al più eminente rappresentante della scienza

ellenistica, sono stati attribuiti al suo pensiero, rigoroso e matematico, concezioni “risibili”. D'altra parte, l'onore e la stima i cui furono sempre tenuti gli studi di Euclide fecero sì che, per secoli, altri studiosi non supponessero possibile mettere in discussione i concetti erronei a lui attribuiti.

L'impostazione del presente lavoro segue la strada dettata dalla necessità della ricostruzione storica e scientifica.

Si è preso in esame nel primo capitolo il momento storico e la situazione economica, sociale e scientifica verificatasi nel III secolo a.C. nel bacino del Mediterraneo, in particolare in Egitto, e soprattutto nella città di Alessandria nella quale l'incontro prodottosi fra le culture di diverse ed evolute civiltà portò ad un eccezionale fermento di studi e ricerche da cui nacque il metodo scientifico ed in cui si rese possibile la collaborazione e lo scambio proficuo fra le diverse discipline.

La ricostruzione del significato originario della teoria euclidea ed il recupero del suo valore sono stati perseguiti quindi attraverso l'esame del pensiero filosofico proprio del tempo in cui fu concepita e attraverso l'esame delle teorie scientifiche dalle quali deriva, soprattutto gli *Elementi*.

Il contributo dato dagli studi anatomici del medico alessandrino Erofilo allo sviluppo della teoria della visione è stato esaminato nel secondo capitolo perché attraverso la ricostruzione dei collegamenti con i contemporanei studi di oftalmologia si riescono a comprendere con maggiore chiarezza gli aspetti fisiologici sottintesi a questo modello della teoria della percezione visiva che sono stati ignorati dagli studiosi sino al XX secolo.

La conoscenza delle concezioni scientifiche, filosofiche e linguistiche e delle cognizioni oftalmiche unitamente all'analisi filologica si rivelano utili e necessarie per la ricostruzione del testo originario, il cui contenuto è esposto nel terzo capitolo in cui si prendono in esame le premesse ed i teoremi.

Tale ricostruzione consente di apprezzare a pieno il valore ed il rigore scientifico dell'opera e la sua validità odierna per l'ottica geometrica e separa dal testo originale gli errori, le interpolazioni e le manomissioni dei traduttori e dei compilatori, dovuti anche alle teorie filosofiche ritenute, poco correttamente, alla base del trattato e che ne hanno condizionato la trasmissione.

Viene quindi esposto il percorso storico e bibliografico attraverso il quale il trattato è giunto sino a noi.

Anche la raccolta delle notizie sulla biografia e sulle opere di Euclide è utile perché consente di inquadrarne storicamente la figura, cercando di sottrarla al mito che l'ha posta, nei millenni, fuori del tempo, e permette di verificare lo stretto rapporto che lega l'*Ottica* con la scienza degli *Elementi*.

Si prendono infine in esame i rapporti di questo trattato con altri studi che ad esso hanno fatto riferimento e alcune applicazioni a cui ha dato luogo nel campo della tecnica e delle arti visive.

Ciò non solo riveste un interesse per la storia della scienza e degli studi della visione ma ha anche valore per il contributo che può offrire alla metodologia scientifica moderna e specificamente alla conoscenza del fenomeno visivo.

L'*Ottica*, uno pochi dei trattati scientifici di epoca ellenistica giunto sino a noi, si rivela un trattato rigoroso e oggettivo, basato sul metodo ipotetico deduttivo, che testimonia la nascita del metodo scientifico e la retrodata al III secolo a.C.

Il percorso storico ed i fraintendimenti di cui fu oggetto il trattato preso in esame mettono in discussione l'idea di un progresso scientifico automatico e costante dell'umanità, idea nata nel secolo dei lumi, condivisa ancor'oggi da buona parte della società. La scienza ellenistica decadde e i progressi ottenuti scomparvero; lo studio del fenomeno della visione fu a lungo trascurato ed il trattato di Euclide frainteso. Solo dopo molti secoli la conoscenza scientifica ebbe un rinascimento, legato proprio alla riscoperta della scienza antica, che fu

preludio e fondamento agli sviluppi moderni. Solo nel XX secolo è stato riconosciuto a pieno il rigore scientifico ed il valore del trattato.

L'approfondimento della conoscenza critica dell'*Ottica*, spiegazione razionale del fenomeno della visione, fondata sulla logica classica e la geometria euclidea, esempio anche oggi agli scienziati di un modello teorico del mondo concreto e di un metodo scientifico, offre infine uno stimolo al recupero della cultura e del pensiero della civiltà classica, ed ellenistica in particolare, e delle basi scientifiche della nostra cultura.

Capitolo 1: L’ellenismo

1.1 Premessa

Euclide visse nel periodo ellenistico al tempo di Tolomeo Sotere re d’Egitto (306-283 a.C.). Lavorò ed insegnò ad Alessandria di Egitto come testimoniano Proclo (412-485), filosofo neoplatonico vissuto ad Alessandria e poi ad Atene, che commentò gli *Elementi* di Euclide, e Pappo, matematico del III secolo d.C. I loro scritti giudicati attendibili costituiscono fonti fondamentali, talora uniche, per la storia della geometria greca e dei suoi autori. Di Euclide si hanno poche notizie storiche perché le fonti disponibili di informazioni sul periodo dal 301 a.C. al 221 a.C., periodo nel quale egli visse, non contengono una trattazione sistematica.

Scienziato poliedrico, Euclide si occupò di geometria, musica, astronomia, ottica. Per comprendere il valore dei suoi scritti e in particolare dell’*Ottica*, per rendersi conto degli errori interpretativi di cui fu oggetto e per valutare l’attualità del metodo si è detto che occorre conoscere l’epoca storica, l’ambiente economico e la situazione sociale in cui Euclide visse, la cultura e la filosofia di quel tempo. Ciò permetterà di valutare se il suo pensiero e le sue opere, la cui genialità è indiscussa dopo duemila anni, costituiscano un *unicum* irripetibile e isolato o siano il frutto, oltre che delle imprescindibili qualità personali, anche della singolare situazione culturale determinatasi dall’incontro del pensiero e della razionalità greci con il patrimonio culturale di altre civiltà, se cioè l’ambiente culturale ellenistico costituì l’humus che rese possibile le opere di Euclide in generale, e in particolare l’*Ottica*, trattato oggetto del presente lavoro.

1.2 La civiltà ellenistica

1.2.1 Momento storico, ambiente economico e sociale

L'epoca ellenistica ebbe questo nome dal primo studioso che rivalutò questo periodo storico, J. G. Droysen (1808-1884) che scrisse *Storia dell'Ellenismo*, opera in più volumi il primo dei quali è *Storia di Alessandro il Grande di Macedonia*.

La convenzione degli studi storici definisce “ellenistico” il periodo che va dalla morte di Alessandro Magno nel 323 a.C. alla conquista dell'Egitto da parte di Roma nel 30 a.C., periodo nel quale la cultura e la lingua greca si diffusero e dominarono l'area mediterranea.

Le fonti storiche pervenuteci relative a questo periodo storico sono molto frammentarie: la *Biblioteca Historica* di Diodoro Siculo ci è giunta solo fino al ventesimo libro, cioè sino al 301 a.C., e le storie di Polibio partono dal 221 a.C.: non si hanno dunque notizie degli anni intermedi, per ottenere le quali occorre risalire a reperti archeologici e fonti del periodo romano. Mentre la storia della Grecia classica e la storia di Roma sono state tramandate e sono rimaste nella cultura di questi due millenni come punti di riferimento, il periodo ellenistico è caduto nell'oblio. Inoltre la maggior parte degli scritti dell'epoca sono andati perduti, in quanto delle opere di quel periodo i posteri hanno spesso tramandato e conservato solo ciò che era ancora comprensibile per la loro cultura, la quale però, con la scomparsa dei regni ellenistici, subì non solo un arresto nello sviluppo, rispetto a quella ellenistica, ma una vera e propria involuzione, un grave regresso.

Importante per la conoscenza di alcuni aspetti di quel periodo è *La storia economica e sociale del mondo ellenistico*, opera in tre volumi di M. Rostovtzeff il quale, parlando delle fonti storiche del III e II secolo a.C. in Egitto, fonti letterarie, papiri, iscrizioni e monete, le definisce “esigues” e precisa che le testimonianze letterarie si limitano,

per il II secolo, per lo più a frammenti dell'opera storica di Polibio.¹

Famoso documento del periodo ellenistico è la stele di Rosetta, del 196 a.C., che contiene, riportato in greco, egizio geroglifico ed egizio demotico, un decreto dei sacerdoti in onore di Tolomeo V Epifane re d'Egitto.

Una ragione importante della scarsa conoscenza di questa epoca storica è la difficile conservazione nel tempo dei papiri e delle pergamene il cui materiale non subisce gravi alterazioni solo se conservato in condizioni climatiche particolari, come è avvenuto appunto in Egitto.

Proprio gli scavi effettuati recentemente ad Alessandria, nell'ultimo decennio del XX secolo, hanno permesso di ritrovare papiri che danno notizie dell'Egitto sotto il regno dei Tolomei.

La ricostruzione delle prove dell'esistenza di questa civiltà e delle sue peculiarità, viene effettuata da L. Russo, nel 1996, con lo studio *La rivoluzione dimenticata – Il pensiero scientifico greco e la scienza moderna*, grazie ad una sistematica e vastissima opera di recupero di testimonianze archeologiche e letterarie che consente all'autore di sovvertire lo stereotipo diffuso che vede in quell'epoca un periodo di decadenza, la cui eredità è stata considerata per millenni molto meno importante di quella del periodo classico. Matematico e conoscitore della lingua e dei classici greci, grazie alla molteplicità delle competenze umanistiche e scientifiche, Russo documenta e sostiene che la nascita della scienza moderna non risale al periodo post-rinascimentale ma al periodo ellenistico, quando vi fu uno straordinario fenomeno culturale e sociale che interessò l'intera area mediterranea per più di due secoli e che vide la nascita della scienza moderna, fra i cui fondatori ha particolare risalto Euclide, l'autore immortale degli *Elementi*.

Il progetto di Alessandro Magno (356-323 a.C.), educato da

1) Rostovtzeff, *Storia economica e sociale del mondo ellenistico – vol. II*, pag. 118

Aristotele, di unificare sotto il suo regno l'Oriente, lo aveva portato a conquistare territori che andavano dall'Egitto all'Indo, e a dominare così il Mar Mediterraneo e le più importanti vie di comunicazione e di commercio del tempo. A capo di ogni circoscrizione amministrativa, o satrapia, per il governo dei territori, Alessandro aveva posto degli ellenici. Alla sua morte, dopo un periodo di lotte, si formarono intorno al 301 a.C. i regni ellenistici che poterono godere di condizioni ottimali per i loro commerci e conobbero un grande sviluppo economico, urbanistico e anche culturale.

I regni ellenistici, che si formarono dalla dissoluzione dell'impero di Alessandro Magno, furono i seguenti: quello di Egitto, che durò sino al 30 a.C., quello di Macedonia, che comprendeva la Grecia e durò fino al 168 a.C., quello di Siria, che divenne colonia romana nel 63 a.C., quello di Pergamo, che passò ai Romani nel 163 a.C., quelli di Epiro, Tracia Battriana, Bitinia e dei Parti. Questi regni ebbero una forte unità culturale ed economica dovuta proprio al fatto che erano governati da una classe agiata di origine greca la quale, pur rispettando le usanze, religioni e organizzazioni locali, diede origine ad un'unità culturale sovranazionale e alla diffusione della cultura e della razionalità greca.

La borghesia agiata, di origine ellenica, di questi regni viveva di commercio, aveva proprietà terriere e praticava professioni con elevato grado di specializzazione: vi erano ingegneri, architetti, scienziati, medici, insegnanti, uomini di legge, militari. In Egitto si formarono anche corporazioni di professionisti e di artigiani.

L'educazione era curata e considerata molto importante, ma nei ginnasi erano ammessi solo i giovani di cultura greca. In questi regni erano diffusi i teatri, vi fiorì la poesia ed ebbe origine il genere letterario del romanzo, come testimoniato dalle opere di Callimaco, di Teocrito e di Apollonio Rodio, vissuti nel IV-III secolo a.C. In quel tempo i bibliotecari di Alessandria svilupparono inoltre la grammatica, la metrica e la filologia e iniziarono gli studi su Omero.

L'industria era molto sviluppata soprattutto nel campo della metallurgia e della produzione delle ceramiche e delle stoffe; le banche erano diffuse; in Egitto fu istituito il servizio sanitario pubblico e le donne godevano di una notevole libertà nelle questioni legali e nella gestione economica, giungendo anche a rivestire cariche pubbliche.

Le popolazioni locali e i lavoratori in genere erano però poveri, spesso disoccupati ed estranei, per la maggior parte, alla cultura ellenistica, legati invece alla cultura locale pregressa. Ciò contribuì, in seguito, dopo la conquista romana dei vari regni, alla scomparsa della cultura ellenistica stessa. Nei regni di Egitto, di Siria e di Pergamo vi sono, ad esempio, notizie di rivolte da parte dei contadini contro gli abitanti della città.

Nei regni ellenistici non era comunque diffusa la schiavitù.

1.2.2 Sviluppo culturale, scientifico e tecnologico

La gloria principale di questa età di intensa attività intellettuale fu uno straordinario sviluppo culturale, scientifico e tecnologico.

I greci che si erano trasferiti in Egitto e Mesopotamia all'epoca delle conquiste di Alessandro avevano trovato un livello tecnologico superiore a quello della loro civiltà. Per millenni, infatti, le civiltà mesopotamiche ed egiziana avevano accumulato conoscenze idrauliche, agricole ed edilizie e sviluppato tecniche empiriche. Le loro stesse strutture statali erano collegate alla risoluzione dei problemi idraulici di irrigazione dei campi e di costruzione degli argini.

L'introduzione della geometria nel suo originario senso di "misurazione della terra" è attribuita agli egiziani da Erodoto che ne vede l'origine nell'esigenza di misurare, a fini fiscali, le variazioni nelle estensioni delle proprietà causate dalle erosioni del fiume Nilo.

La presenza di economie e tecnologie assai sviluppate da controllare e gestire diede dunque un incentivo, ai greci trasferitisi nei

nuovi regni, ad utilizzare i metodi di analisi razionale della loro tradizione culturale per inquadrare le conoscenze empiriche delle culture egiziana e mesopotamiche. Da questo incontro culturale estremamente fecondo ebbe origine il metodo scientifico ellenistico che costituisce, in parallelo con i risultati conoscitivi raggiunti e solo parzialmente trasmessi e pervenutici, il risultato più creativo degli scienziati del tempo, capace di fecondare ancor'oggi la ricerca scientifica se correttamente inteso e applicato. L'*Ottica* è una valida testimonianza di questo metodo.

I sovrani ellenistici favorirono lo sviluppo degli studi e della ricerca, anche perché la scienza era considerata non solo utile per il progresso sociale ma anche vantaggiosa come strumento di forza e potenza statale, non essendo certamente priva di applicazioni con finalità militari.

Un ruolo particolare ebbe la città di Alessandria. In Egitto nel 332 a.C. iniziarono i lavori per la costruzione di questa città, edificata in un luogo dove confluivano i prodotti della valle del Nilo e le ricchezze derivanti dai commerci con l'Oriente; di essa i Tolomei fecero la capitale del loro regno.

Era una città cosmopolita, abitata da greci, egizi ed ebrei, e da immigrati di ogni parte del mondo allora noto. L'acqua del Nilo vi veniva distribuita, depurata, alle singole case; le due strade maggiori erano illuminate di notte. Nel II secolo d.C. Strabone, nella sua *Geographia*, la descrive come una città popolosa, ricca, tecnologicamente progredita, con parchi, teatri, stadi, palestre, templi, ippodromo e ginnasio.

Il ruolo economico di Alessandria, la quale aveva un enorme traffico marittimo, importava materie prime, produceva ed esportava farmaci, tessuti, profumi, prodotti di vetro, carta di papiro, oggetti di metallo, non fu messo in crisi neppure dalla conquista romana.

Tolomeo I fece costruire in questa città i più celebri istituti culturali dell'antichità: il famoso Museo con annessa Biblioteca. É

noto che questi istituti erano organizzati in modo analogo ai nostri centri di ricerca avanzata ed erano dotati di sale di studio, sale anatomiche, osservatorio astronomico, giardino zoologico e orto botanico.

Precedentemente, nel mondo greco, aveva sempre avuto grande importanza la cultura orale, mentre la scrittura aveva mantenuto un ruolo subordinato rispetto all'oralità e i libri erano scritti e acquistati non per un pubblico di lettori ma come strumenti professionali. Nel III secolo, nei regni ellenistici, si verifica una vasta diffusione di libri. La Biblioteca di Alessandria, già nella metà del III secolo, conteneva quasi 500.000 volumi. Si trattava di opere originarie delle diverse parti del mondo con cui i greci erano entrati in contatto, che questi ultimi avevano tradotto in greco per amore di conoscenza e desiderio di assimilazione, di opere concernenti le nuove conoscenze teoriche e di trattati specialistici relativi alle loro applicazioni. Russo documenta l'esistenza di trattati non solo di ingegneria o di medicina, ma di agronomia, apicoltura, pesca, veterinaria, profumeria. All'epoca del primo incendio, per opera di Cesare nel 45 a.C., la biblioteca vantava tra i 600.000 e i 700.000 volumi.

La diffusione maggiore del libro che avvenne in quest'epoca favorì la formazione di una terminologia convenzionale; questa fu indispensabile per una rivoluzione scientifica che si basò su vaste teorie unitarie, fondate su premesse condivise e termini univocamente definiti.

Il Museo di Alessandria è il primo istituto pubblico di cui si abbia notizia; l'Accademia e il Liceo di Atene, che per molti aspetti anticiparono il Museo, erano infatti istituzioni private. Nel Museo vivevano, a spese dei sovrani, i più eminenti scienziati e letterati, personalità come Euclide, Erodoto, Ctesibio, Eratostene, Apollonio di Perga. Questi insegnavano, studiavano e curavano i servizi del Museo, quali appunto la Biblioteca e il servizio sanitario nazionale. Si determinò, in quel tempo e in quel luogo, una reciproca interazione tra

gli studiosi che contribuì allo sviluppo delle diverse discipline, come si può, ad esempio, vedere dalle relazioni esistenti fra gli studi di ottica di Euclide, gli studi di anatomia di Erofilo e le realizzazioni tecnologiche di Ctesibio.

Le scoperte e le invenzioni degli scienziati ellenistici contribuirono allo sviluppo economico e al benessere di tutta la società del tempo grazie ai risultati tecnici che consentirono di raggiungere, quali quelli che si ottennero, ad esempio, nel campo dell'irrigazione e del prosciugamento delle miniere, grazie alla coclea di Archimede, nel campo navale, tanto militare quanto commerciale, con la costruzione di navi sempre più grandi, ancora grazie agli studi di idrostatica del Siracusano, e nel campo dell'edilizia con la costruzione di edifici alti, di cui un esempio rimane il Faro di Alessandria. Questo, assieme al Colosso di Rodi, fu annoverato fra le sette meraviglie del mondo. Costruito nel 280 a.C., era un simbolo delle capacità tecnologiche di questo periodo. Era alto 95 metri e la sua luce era visibile a 48 chilometri di distanza. Era sicuramente dotato, per inviare la luce a tali distanze, di un riflettore ottenuto con uno specchio parabolico che richiedeva, per essere realizzato, conoscenze di catottrica e teoria delle coniche. Gli studi di pneumatica permisero poi la costruzione di condutture forzate che furono utilizzate per l'approvvigionamento dell'acqua mentre l'ideazione di leve, ingranaggi a vite e ruote dentate fornì strumenti a scopo militare, e contribuì a migliorare la vita civile portando alla comparsa di presse per panni e anche di torchi da olio e da vino.

La politica culturale assorbiva molte risorse economiche; la sua importanza risulta evidente se si considera che fra i Tolomei e il regno di Pergamo vi fu una "guerra della carta", con il blocco della vendita del papiro di Egitto a Pergamo dove si sviluppò quindi un altro materiale che prese appunto il nome di "pergamena".

1.3 La scomparsa della civiltà e della scienza ellenistica

La scienza e la cultura ellenistica, espressioni di una civiltà ricca ed evoluta, sviluppatasi straordinariamente nel III secolo a.C., che Rostovtzeff definisce il “secolo d'oro”, si spensero e sparirono in breve tempo.

Il potere dei regni ellenistici, fondato su un'economia fortemente legata a scoperte scientifiche e tecnologiche che i sovrani utilizzavano come strumento di potere e ricchezza, iniziò il suo declino con l'inserimento della civiltà latina nell'economia del Mediterraneo. Tale decadenza si approfondì per varie ragioni, le più importanti delle quali sono: le lunghe guerre fra Roma e gli stati ellenistici e degli stati ellenistici fra di loro, la natura elitaria del sapere, il declino delle risorse economiche causato anche dalle rivolte interne, la dispersione degli scienziati e la distruzione delle biblioteche.

L'ostacolo più grave all'attività scientifica fu costituito dalle guerre fra Roma e gli stati ellenistici che ebbero luogo in tutto il bacino del Mediterraneo. Esse si conclusero nel 30 a.C. con la conquista di Alessandria con cui Roma portò a termine l'unificazione di tutti i regni ellenistici sotto il suo dominio.

La Biblioteca di Alessandria, pur incendiata, sopravvisse almeno in parte alla conquista romana ma tante altre biblioteche furono depredate e scomparvero. Molti libri, un bene prezioso, costosissimo e raro, furono portati a Roma.

Le deportazioni degli intellettuali e degli scienziati greci come schiavi contribuirono anch'esse a determinare la fine della civiltà ellenistica. Si era diffusa infatti l'usanza fra i romani di portare i greci colti, come schiavi, a Roma dove erano usati come copisti, lettori e pedagoghi per i romani. La civiltà romana era ancora lontana dalla raffinata cultura dei tempi di Virgilio e di Orazio, cultura che maturò appunto con il contatto e la conoscenza della cultura greca.

È ipotizzabile che alla decadenza interna abbia contribuito anche la crescita stessa delle conoscenze che portò forzatamente alla specializzazione e talora alla fossilizzazione del sapere. È noto che in Egitto, ad esempio, le strutture del sapere come del potere divennero fortemente burocratiche e verticistiche, creando una sorta di paralisi interna.

Il fatto che il sapere avesse natura elitaria contribuì grandemente all'estinguersi di questa civiltà proprio perché, dopo la scomparsa dell'élite intellettuale, non vi fu più chi fosse in grado di comprenderne e trasmetterne le conoscenze. La struttura sociale di questi regni aveva infatti un'intrinseca debolezza: la cultura alessandrina era esclusivo privilegio di una sola classe sociale, quella che può definirsi intellettuale, borghese, dirigente, comunque agiata e colta, di origine greca. Dal sapere erano completamente escluse le classi lavoratrici e la grande massa del popolo la quale, povera e soprattutto ignorante, pur usufruendo dei benefici dovuti alle applicazioni tecniche della scienza ellenistica, restò radicata alle culture locali e non si "ellenizzò" mai.

Anche se i sovrani ellenistici praticarono idee che si possono considerare più liberali e umanitarie rispetto a quelle degli altri regni dell'epoca e anche successivi, pure si hanno notizie di vere e proprie rivolte, ad esempio nel regno di Egitto, di Siria e di Pergamo, e questo nonostante il fatto che, diversamente da altrove, in questi regni e in particolare in Siria e in Egitto, gli schiavi fossero pochi e i lavoratori fossero tra di loro organizzati e godessero anche di alcuni diritti. Si sa ad esempio che, in Egitto, nel periodo dal 221 a.C. al 145 a.C., sotto il Filopatore (Tolomeo IV), l'Epifane (Tolomeo V) e il Filometore (Tolomeo VI), vi furono rivolte e guerre dovute all'oppressione tributaria crescente a cui erano sottoposti i contadini indigeni da parte del re, padrone della terra. Mentre i primi Tolomei ebbero verso gli indigeni e i greci una politica di dominio benevolo che associava però solo i greci agli affari militari e civili dello stato, già Tolomeo

Filopatore fu costretto a passare ad una politica di associazione degli indigeni che implicava ampie concessioni agli stessi nella sfera degli ordinamenti militari e religiosi, nella speranza di guadagnarne le simpatie e l’appoggio. Sotto questi sovrani l’Egitto non riuscì, nonostante i vari provvedimenti, a tornare alla situazione del III secolo a.C., definita da Rostovtzeff come i “bei tempi di pace, d’ordine e di prosperità”.² Le ribellioni continuarono, determinando un declino delle risorse economiche dell’Egitto, testimoniato anche dal decreto inciso sulla celebre stele di Rosetta. Rostovtzeff ne descrive le conseguenze come: “il graduale spopolamento dei villaggi, l’abbandono dei campi, il deterioramento del suolo, la trascuratezza dell’efficienza delle dighe e dei canali”,³ il tutto mentre diminuivano i redditi legati al commercio marittimo, sia nell’Egeo che in occidente a causa delle guerre puniche.

L’attività scientifica subirà poi un grave arresto in Egitto anche per la persecuzione effettuata dal sovrano Tolomeo VIII Evergete II nel 145-144 a.C. nei confronti della classe dirigente greca, che determinò l’allontanamento di diversi scienziati da Alessandria.

Gli effetti di questa diaspora si possono desumere dall’opera storica *Deipnosophistae* di Ateneo del 200 d.C. circa, il quale ne fece una descrizione impressionante: “Si giunse ad un rinnovarsi di tutti i *paideia* sotto il regno del settimo⁴ Tolomeo che governò l’Egitto, quello che gli Alessandrini appropriatamente chiamarono Malfattore. Perché egli sterminò molti degli Alessandrini e ne esiliò non pochi che erano cresciuti con suo fratello [vedi Tolomeo Filometore], intasando così le isole e le città di filologi, di filosofi, di matematici, di

2) Rostovtzeff, op. cit., pag. 140

3) Rostovtzeff, op. cit. pag. 128

4) Secondo il conteggio moderno Evergete II è Tolomeo VIII e non VII ma Ateneo probabilmente non conta Tolomeo VII Neo Filopatore (secondo figlio di Tolomeo VI Filometore) che da ragazzo fu re per meno di un anno (145-144 a.C.) sotto la reggenza di sua madre Cleopatra II e che fu assassinato su ordine di Evergete II, forse nel giorno del matrimonio forzato di sua madre allo stesso Evergete II. Cfr. Von Staden, *The Art of Medicine in the Early Alexandria*, pag. 68 n.3

musicisti, di pittori, di maestri di educazione fisica, come anche di medici e di molti altri professionisti. A motivo della loro povertà essi insegnarono ciò che sapevano e istruirono molti uomini distinti.”⁵

L'aspetto positivo di questa dispersione è il fatto che molti libri e trattati, portati all'estero, sopravvissero al rogo della Biblioteca e ciò contribuì alla loro diffusione.

Quando Roma conquistò i vari regni, fra il II e il I secolo a.C., i Romani non erano culturalmente in grado di capire la civiltà ellenistica. Quando la cultura romana, grazie ai rapporti con la cultura greca, fu in grado di comprendere l'eredità della civiltà ellenistica, essa era già scomparsa.

Il principale centro dell'attività scientifica residua continuerà ad essere, anche dopo la conquista romana, Alessandria d'Egitto ma vi si svolgerà un'attività scientifica non più originale, bensì limitata a compilazioni, commenti e redazioni di vecchie opere che poi, risultando in alcuni casi inintelligibili per la perdita delle conoscenze ad esse sottintese, verranno fraintese, interpolate e manomesse e talora trascurate e non più trasmesse.

L'interruzione dell'insegnamento orale fu, in termini temporali, una delle prime cause che rese incomprensibili le opere che si erano conservate.

Ignorando ciò che non potevano più comprendere e interpretando secondo il loro pensiero, gli studiosi fecero dunque oggetto di trascrizione e trasmissione ai posteri in prevalenza di ciò che era ancora comprensibile per la loro cultura ed era oggetto anche di insegnamento ai giovani.

Molteplici sono i riferimenti letterari che testimoniano tale problema riportati da L. Russo nel suo studio.

Vitruvio (c.a. 80-23 a.C.), ad esempio, nel *De Architectura*

5) Athenaeus, *Deipnosophistae*, 4.83.184b-c, in Von Staden, op. cit., pag. 68

afferma come le opere scritte in lingua greca siano oscure e difficili e Lucrezio (98-55 a.C.), nel *De Rerum Natura*, afferma che è difficile cercare di rendere in latino “graiorum obscura reperta”.

Epitteto, filosofo stoico del II secolo d.C. dichiara di non essere più in grado di comprendere gli scritti di Crisippo, le cui concezioni filosofiche e linguistiche avrebbero consentito di interpretare correttamente i concetti espressi da Euclide.

Questo fenomeno, che si è ripetuto nella storia, ha fatto sì che la tradizione abbia conservato, ad esempio, in quanto più comprensibili, le opere di Varrone (116-27 a.C.) e di Vitruvio sull'agricoltura e sull'architettura ma non le loro fonti ellenistiche; sono state tramandate le opere di Erone sugli specchi ma non l'opera scritta da Archimede sullo stesso argomento e delle opere di Apollonio sulle coniche sono stati trascritti solo i libri più comprensibili e tralasciati gli altri. L'*Ottica*, ebbe la fortuna di essere tramandata; furono fraintesi però alcuni concetti costituenti il fondamento dell'opera stessa; da ciò si generarono errori concettuali e, di conseguenza, discussioni secolari farraginose e spesso assurde. Ciò non permise ai posteri di approfittare della genialità di Euclide, genialità che si esprime non solo nei risultati ottenuti nello studio della visione ma anche e soprattutto nella creazione ed applicazione di un metodo scientifico.

Il metodo scientifico, logico-deduttivo ed astratto, fu abbandonato, perché non vi era più la capacità di comprenderlo né da parte dei ricercatori e degli studiosi, pur valenti, di epoche successive, come ad esempio Erone, Tolomeo e Galeno nel I e II secolo d.C., né da parte dei commentatori e redattori come Pappo nel IV secolo, la cui *Collezione* peraltro è preziosa perché fornisce notizie di tutta la matematica greca, e come Teone di Alessandria, filosofo e matematico greco che insegnò nel IV secolo ad Alessandria, che commentò gli *Elementi* e l'*Ottica* di Euclide e al quale si deve la loro trasmissione.

La crisi del metodo scientifico fece interpretare “realisticamente”, cioè come affermazioni relative alla realtà concreta, le affermazioni scientifiche delle opere sopravvissute che erano invece relative a modelli.

Si formò allora il mito del disinteresse degli “Antichi”, termine genericamente inclusivo di tutta la cultura greco-romana, per la scienza applicata, mito che corrisponde alla verità, non per gli scienziati ellenistici, ma per molti pensatori della Grecia classica e del mondo romano di epoca imperiale. Nacque anche il mito di una civiltà greco-romana omogenea, a cui contribuì, ad esempio, Plutarco, con la sua opera *Vite parallele*.

Lo studio dei trattati ellenistici verrà ripreso in determinati periodi della storia occidentale e genererà un risveglio culturale scientifico nella civiltà del tempo più o meno importante a seconda del grado di comprensione dei testi da parte degli studiosi.

1.4 La scienza ellenistica

1.4.1 Le teorie scientifiche, il metodo dimostrativo, le concezioni linguistiche, l'osservazione dei fenomeni, il rapporto con la tecnica

La civiltà ellenistica, che aveva le sue radici nella cultura greca, fu caratterizzata da un'esplosione di teorie scientifiche che produsse una vera e propria rivoluzione culturale.

Considerando che la scienza è tale se, fornendo modelli del mondo reale e garantendo la verità delle proprie affermazioni, può trasferire nel mondo soluzioni ai problemi o talora costruire una realtà corrispondente al modello, giungendo anche a modificare la realtà, non limitandosi cioè a fornire descrizioni dei fenomeni naturali ma fornendo modelli per attività tecnologiche, è conseguente affermare che la scienza moderna è nata nel periodo ellenistico. In particolare la scienza della visione, nel suo studio geometrico, è nata con l'*Ottica* di Euclide. Le opere di Euclide sono state un punto di riferimento

costante per gli studiosi lungo i secoli sia per il contenuto che per il metodo.

Così quando L. Russo fissa i caratteri, i limiti e le attribuzioni in base ai quali una teoria può essere definita scientifica, ne deduce i criteri proprio dalle caratteristiche essenziali condivise dalla termodinamica, dalla geometria euclidea e dal calcolo delle probabilità che tutti gli studiosi, pur nel dibattito e nella molteplicità delle opinioni in merito, considerano appunto “teorie scientifiche”.

I criteri dunque, pur restrittivi, per definire “scientifica” una teoria, che sono propri anche del trattato della visione preso in esame, sono i seguenti:

- le sue affermazioni non riguardano oggetti concreti, ma enti teorici specifici (così la geometria euclidea, ad esempio, fa affermazioni su angoli e segmenti che non esistono in natura e nell'*Ottica* il “raggio visuale” non è un oggetto concreto ma un ente teorico);

- la teoria ha una natura rigorosamente deduttiva; è basata cioè su pochi enunciati fondamentali, detti assiomi o postulati, inerenti i propri enti caratteristici e fornisce un metodo unitario per risolvere un numero illimitato di esercizi, controllabili attraverso la dimostrazione e il calcolo al fine di verificarne la verità;

- le applicazioni al mondo reale sono basate su regole di corrispondenza fra gli enti della teoria e gli oggetti concreti e si fondano sul metodo sperimentale.

Il metodo dimostrativo è una caratteristica essenziale delle teorie scientifiche come appaiono nelle opere ellenistiche; è una tecnica con cui si deducono affermazioni da altre affermazioni in modo inconfutabile, in modo cioè che chi accetta le premesse non possa rifiutare le conclusioni. Le dimostrazioni, come già aveva insegnato Aristotele (384-322 a.C.) nelle sue opere logiche, sono un sillogismo in cui le premesse sono vere; la dimostrazione è dunque assolutamente inconfutabile.

Al metodo dimostrativo si era giunti in Grecia grazie allo sviluppo della retorica dimostrativa e giudiziaria, cioè dell'arte di argomentare in modo convincente nelle aule di tribunale e nelle assemblee, arte che fu propria delle forme democratiche greche e che precede le opere di logica di circa un secolo. Il rapporto tra retorica e dimostrazione risulta assai chiaro nella *Retorica* di Aristotele.

La dimostrazione sillogistica, elemento importante del metodo scientifico, si associò poi ad altri elementi, presi dalle osservazioni e dalle attività tecniche. Aveva la necessità di “premesse” e di termini scelti in modo opportuno cioè di “postulati”, “assunzioni” o anche “ipotesi”, intendendo per “ipotesi” non il significato moderno, cioè la condizione relativa al possibile verificarsi di un fatto, ma “principi” ovvero le assunzioni iniziali da porsi nell'ambito di una teoria scientifica. Il requisito essenziale delle ipotesi di una teoria è che devono permettere di dedurre logicamente i fenomeni anche se non sono direttamente verificabili.

La nozione del raggio visuale di Euclide è un esempio del fatto che fu un processo consapevole, da parte degli scienziati greci, l'assunzione di postulati che divengono affermazioni teoriche, mantenendo il significato iniziale e giungendo così a costituire un ponte fra il modello teorico e la realtà concreta.

La relazione del termine utilizzato col significato originario dà luogo a regole di corrispondenza fra enti teorici e oggetti concreti. Questa corrispondenza non è però mai perfetta perché i fenomeni reali dipendono anche dalle proprietà degli oggetti concreti che nel processo di astrazione sono stati eliminati dagli enti della teoria. Questo processo di astrazione per cui si sono sviluppati i concetti scientifici in modo organico avviene, propriamente parlando, solo nella lingua greca e ancor oggi si usano termini desunti da essa. Nei settori dello scibile in cui si formano nuove teorie scientifiche, basate su concetti nuovi, creati e sviluppati coscientemente, si elaborano nuove espressioni linguistiche non solo attraverso processi di

astrazione ma anche attraverso criteri di corrispondenza e somiglianza, come ad esempio farà Erofilo, fondatore della scienza medica alessandrina, per le sue scoperte anatomiche.

Nell'*Ottica* di Euclide termine essenziale è il “raggio visuale” che in greco vuole dire “aspetto”, “visione”, “vista”, “sguardo”, “forza visiva”. Ma, mentre nella filosofia greca vi erano dottrine che ritenevano che vi fosse effettivamente un'emissione attiva e reale da parte dell'occhio di raggi, tutti questi significati della parola “raggio” (οψις / ακτις) sono eliminati nella teoria creata da Euclide perché l'uso del metodo dimostrativo restringe automaticamente l'estensione semantica dei termini usati nei postulati, generando nuovi enti che sono teorici, in quanto su di essi è possibile fare solo affermazioni deducibili dai postulati della teoria stessa.

I “raggi visuali” dell'*Ottica* di Euclide sono enti di una teoria scientifica che associano le semirette con origine nell'occhio alle percezioni visive, secondo la teoria assunta. Tutti gli altri possibili significati della parola “raggio”, non svolgendo alcun ruolo nelle premesse, non sono propri della teoria.

Il punto di partenza della costruzione delle teorie scientifiche non è dato comunque da enti teorici elementari ma, per la loro immediata evidenza, sono presi come punti di partenza i *phaenomena*, le impressioni provocate dalle sensazioni, in quanto questi sono l'unico dato certo di conoscenza. Di ciò in epoca ellenistica non dubitavano nemmeno gli scettici i quali ritenevano che, oltre l'impressione sensibile, fosse essenziale anche l'assenso del soggetto che, nel processo conoscitivo, è nello stesso tempo attivo e involontario. Tale osservazione è già ritrovabile, ad esempio, negli scritti di Erofilo sulla fisiologia del fenomeno visivo e sarà più avanti presente anche in Galeno.

Anche Euclide nell'*Ottica* parte dalle percezioni visive come unico dato certo, riconoscendo che le percezioni non danno informazioni sull'oggetto bensì sulla relazione fra l'oggetto osservato

e l’osservatore. Questa concezione fondamentale nella scienza della visione sarà trascurata dagli studiosi nei secoli successivi. Solo nel XX secolo, con gli studi di Von Staden e Russo, vi sarà una documentazione e riflessione sulla “modernità” del metodo e del pensiero di Euclide e di Erodoto.

Vasco Ronchi, ne *La storia della luce* (1939) e ne *La genesi del mondo apparente* (1985), riprende in esame questo aspetto fondamentale, da cui era partita la scienza ottica, e, dopo secoli di silenzio, sente l’esigenza di chiarire come tutto ciò che vediamo sia frutto della relazione tra l’osservatore e la realtà fisica esterna. La luce esiste solo perché c’è l’uomo che la vede, è il cervello umano che “decodifica” e “vede” il mondo, precisa Ronchi, per cui non si possono studiare la luce e i fenomeni visivi come realtà puramente fisica, prescindendo dal soggetto vedente in quanto, fuori dal cervello, non vi è “luce” ma solo “radiazione”.

L’*Ottica* di Euclide risponde all’esigenza di costruire un sapere scientifico entro cui sistemare le sensazioni visive; fonda una teoria razionale che non vuole essere una teoria della luce e della percezione visiva ma un trattato di geometria da utilizzare per indagare i *phaenomena*.

La scienza ellenistica ebbe poi sempre uno stretto rapporto con l’attività tecnica; i problemi che affronta non nascono come esercitazioni di pensiero astratto, ma sono strumenti che divengono funzionali all’attività tecnica, al disegno e all’applicazione pratica. La stessa matematica ellenistica era costruttiva: Euclide negli *Elementi* introduce ogni figura descrivendone la costruzione, la quale non è una metafora bensì è il vero obiettivo della teoria.

La scienza e gli oggetti concreti restavano in uno stretto rapporto in quanto la scienza doveva dare ragione delle apparenze (*phaenomena*) ed essere utile a progettare oggetti funzionanti. Nel caso dell’ottica, ad esempio, il nome stesso nasce come aggettivo e può sottintendere sia la parola “scienza” sia “arte” sia “tecnica”.

L'*Ottica* fu alla base delle applicazioni astronomiche, della scenografia, della prospettiva e della progettazione di strumenti ottici sin dall'epoca ellenistica.

La stretta connessione fra la scienza e l'applicazione tecnica si vede non solo nell'ottica ma anche, ad esempio, nella scienza pneumatica, usata per costruire sistemi idraulici e pompe, e nell'acustica, utilizzata per la progettazione degli strumenti musicali e dei teatri.

La stessa retorica è definita da Sesto Empirico, ancora alla fine del II secolo d.C., come un'arte, una tecnica, cioè un insieme di “acquisizioni di conoscenze esercitate congiuntamente in relazione ad un fine utile alla vita”.⁶

La più famosa documentazione sulla tecnologia ellenistica la si trova nelle opere di Erone di Alessandria, vissuto probabilmente nel I secolo d.C. Nelle sue opere *Pneumatica* e *Sulla costruzione degli automi* egli mostra di conoscere e di usare viti di precisione, cremagliere, ingranaggi demoltiplicatori, catene di trasmissione e valvole. Usa fonti naturali di energia idraulica ed eolica, si serve del vapore, usa le proprietà dei fluidi ed il principio del moto a reazione. La tecnologia di cui si serve, spesso per costruire dei giochi, e che descrive nei suoi trattati, risale al III secolo a.C. e sfrutta le conoscenze di meccanica, idrostatica e pneumatica di quel tempo. È significativo che la macchina trovata ad Anticitera, nel 1902, risalente al III secolo a.C., mostri una tecnologia che Erone non è già più in grado di documentare. Questa tecnologia, secondo L. Russo, costituirà la base della rivoluzione industriale del XVII-XVIII secolo.

1.4.2 La Matematica Ellenistica

La scienza matematica ellenistica è il vertice del pensiero scientifico del III secolo a.C. e ha la sua massima espressione negli

6) Sesto Empirico, *Adversus Mathematicos*, in Russo L., *La Rivoluzione Dimenticata – Il pensiero scientifico greco e la scienza moderna*, Ed. Feltrinelli, 1996., pag. 220

Elementi di Euclide, opera che si pone a fondamento della matematica sino ai nostri giorni ed è il presupposto necessario per l’ottica geometrica.

Precursore della scienza matematica degli *Elementi* è Eudosso di Cnido (408-353 a.C. circa), la cui opera è andata completamente perduta. Geymonat⁷ presenta Eudosso, contemporaneo di Platone, come il primo che nella cultura greca dette inizio ad una certa specializzazione degli studi, valendosi, per la sua formazione culturale, non solo della sapienza greca ma anche degli studi di astronomia dei sacerdoti egiziani e degli studi matematici della scuola del pitagorico Archita a Taranto, grazie ai suoi viaggi in Egitto e nella Magna Grecia. Eudosso, erede di Platone, fu, secondo Geymonat, influenzato dai sofisti dai quali “apprese [...] i pericoli insiti nella genericità del linguaggio comune” e “comprese la necessità di creare linguaggi specializzati per le singole discipline”.⁸

Nel VI secolo, già Talete di Mileto aveva iniziato gli studi di geometria e Pitagora aveva elaborato dimostrazioni e teoremi ma la matematica greca non poteva ancora essere definita una scienza. Essa però, elaborando, grazie all’analisi razionale nata dalla filosofia, la matematica empirica dell’Egitto faraonico e dell’antica Mesopotamia, costituì la base della matematica ellenistica.

Nella matematica ellenica erano sorti ed erano stati affrontati alcuni problemi. Era divenuta ovvia l’utilità del metodo dimostrativo perché affermazioni ovvie su figure geometriche ne implicavano altre meno evidenti. Era ormai considerato inconfutabile, secondo quanto affermato da Aristotele, che vi sono affermazioni che risultano evidenti e non hanno bisogno di dimostrazione. Si scongiurava così il pericolo di dover rinviare all’infinito la dimostrazione di ogni affermazione, esigenza che avrebbe reso impossibile lo svilupparsi di un qualunque sapere scientifico. Era apparso poi inadeguato il

7) Geymonat L., *Storia del pensiero filosofico e scientifico*, Ed. Garzanti, Milano, 1973.

8) Geymonat L., op. cit. - vol. I, pag. 238

linguaggio ordinario per trattare questioni matematiche e non era chiaro il rapporto fra i concetti propri della matematica e il mondo reale.

La filosofia platonica fornì l'idea che gli oggetti matematici fossero dotati di una realtà superiore a quella delle loro immagini sensibili e procurò dunque un aiuto per la costruzione consapevole di enti teorici. Strumenti logici, concezioni filosofiche e soluzioni linguistiche si accumularono e diedero luogo ad un unico corpo di conoscenze logicamente connesse e coerenti.

L'idea platonica che la vera realtà non va cercata nel mondo sensibile ma in quello delle idee eterne, immutabili e incorruttibili, contribuì ad accrescere l'interesse degli studiosi per i concetti matematici e per la scienza in generale come costituita da verità indipendenti da verifiche empiriche. Per Platone gli enti matematici hanno una propria realtà oggettiva ed il matematico ha il compito di descriverli ed usarli.

Euclide, che con gli *Elementi* creò la matematica come teoria scientifica, se fu influenzato da questa filosofia, non concepì però la matematica come rivolta alla contemplazione; nelle sue opere è invece ben chiaro che qualsiasi ente matematico esiste in quanto è costruibile. Gli enti matematici sono intesi da Euclide come modelli, strumenti concettuali elaborati dall'uomo che li costruisce mediante definizioni. La sua è una concezione "costruttivista". Guardando, ad esempio, i primi tre postulati degli *Elementi*, appare evidente che, nel formularli, lo scienziato tiene presente la riga e il compasso con cui disegnarli:

I Postulato: si domanda che da qualsiasi punto si possa condurre una retta ad ogni altro punto;

II: e che ogni retta terminata (cioè segmento) si possa prolungare continuamente per diritto;

III: e che con ogni centro e ogni distanza si possa descrivere un circolo.

Come Euclide non manifesta, negli *Elementi*, influenze platoniche, neppure nell'*Ottica* vi sono idee platoniche, anche se alcuni attribuiscono i “raggi visuali” della sua costruzione logica ad idee platoniche legate alla visione. Anche se tale filosofia confluisce sullo sfondo culturale di Euclide, all'opera concorrono, determinanti, altri fattori culturali.

Euclide, negli *Elementi*, usa il metodo che è stato ereditato dalla matematica moderna ed è alla base anche dell'*Ottica*, definisce gli enti della sua teoria (cerchi, angoli retti, rette parallele, etc.) ponendo postulati, cioè “affermazioni su tali enti da accettarsi senza dimostrazione, mentre ogni altra affermazione riguardante gli enti geometrici può e deve essere accettata come vera solo se si riesce a trovarne la dimostrazione [...] cioè se si trova una catena di implicazioni logiche che partendo dai postulati [...] arriva alle affermazioni date”.⁹

Gli *Elementi* non costituiscono un'opera originale ma riuniscono teoremi già noti prima di Euclide. La novità importantissima sta nell'unità logica dell'opera, il valore dei teoremi esposti consiste nella connessione dei risultati matematici che consentono l'estensione della teoria e il fare esercizi.

Dunque sul retroterra teorico dei concetti platonici, del sistema deduttivo logico aristotelico, delle teorie di Eudosso e delle dimostrazioni di Ippocrate di Chio (470-410 a.C.), geometra di scuola pitagorica, delimitati gli oggetti e l'ambito operativo della geometria, posti alla base postulati e nozioni comuni indimostrabili, accettati sulla base dell'evidenza e dell'intuizione, costruite le dimostrazioni che hanno garanzie interne di scientificità e di precisione, nasce una scienza dove prima esistevano solo ricerche, teoremi e intuizioni frammentarie.

9) Russo L., *La Rivoluzione Dimenticata – Il pensiero scientifico greco e la scienza moderna*, Feltrinelli, 1996, pag. 60

L'*Ottica*, ideata dopo gli *Elementi*, ponte di collegamento fra questo studio e le opere applicative di astronomia, è in assoluto la prima costruzione logica e unitaria, in termini geometrici, della scienza della visione.

1.4.3 La filosofia della scienza

Le scuole di pensiero filosofico dell'età alessandrina furono lo scetticismo, l'epicureismo e lo stoicismo, che si rifanno, come loro capostipiti, a Pirrone (365-270 a.C.), Epicuro (341-271 a.C.) e Zenone (334-262 a.C.) rispettivamente. Le loro idee relative al problema della conoscenza, della forma e dei limiti dell'attività conoscitiva umana esercitarono una grande influenza sulla cultura del tempo, ed in particolare sulla scienza.

La dottrina filosofica degli scettici, che si sviluppò dal IV secolo a.C. al III secolo d.C., riteneva inconoscibile la realtà e affermava che le sensazioni, i pensieri e le opinioni dell'uomo possono essere definite sia vere che false perché non esiste in natura né il vero né il falso ma solo esistono convenzioni degli uomini fra loro. Lo stesso discorso scettico non si sottrae alla radicalità del dubbio e conclude che non si può neppure affermare di sapere di non sapere.

L'epicureismo, che si sviluppò nel medesimo periodo, riteneva autoevidente invece la sensazione a cui viene attribuito un valore di verità. Questa è la base su cui è possibile costruire la conoscenza ma poiché sensazioni diverse generano verità diverse, ritenute comunque valide, ne consegue un'impossibilità, secondo gli epicurei, a determinare una verità univoca. Da ciò conseguiva che teorie anche diverse risultavano tutte comunque valide.

La dottrina stoica fu fondata ad Atene da Zenone nel 300 a.C. circa. Egli per primo denominò "logica" la scienza dei discorsi. La logica stoica studia le proposizioni dei discorsi e il ragionamento. In ogni proposizione distingue tre elementi: il significante, ovvero la

parola (ad es. il suono “Zenone”), la cosa significata (Zenone in carne ed ossa) e ciò che la parola significa (il significato). I primi due elementi sono corporei, il terzo è incorporeo ed esercita tra i due una funzione logica di collegamento. La dottrina stoica afferma quindi che è il terzo elemento, il significato, che può essere vero o falso, non il significante o la cosa significata.

In tal modo gli stoici stabiliscono le condizioni formali di veridicità delle proposizioni elementari, dando luogo a schemi di argomentazioni logiche anapodittiche, la cui validità cioè è assunta senza dovere né potere essere dimostrata in quanto evidenti in modo intuitivo.

Gli stoici, pur asserendo essere impossibile dire nulla sulla verità o falsità delle impressioni sensibili, ritenevano dunque possibile costruire una teoria della conoscenza costruendo una realtà conoscibile in cui le percezioni o sensazioni vengono razionalizzate sistematizzando le conoscenze scientifiche e realizzando teorie che permettono di misurare e riprodurre la realtà. Questa concezione fu la base filosofica che permise la creazione delle teorie scientifiche in epoca ellenistica e la nascita della scienza nel senso moderno del termine.

La formazione di nuovi termini scientifici è un processo che si sviluppa grazie alla filosofia stoica che riduce il significato delle parole a ciò che chi le usa intende significare. Così avviene, ad esempio, per la nozione di “raggio visuale” nell’*Ottica* di Euclide e per il concetto di “baricentro” nell’opera *Sull’equilibrio delle figure piane* di Archimede.

Prendendo in esame l’*Ottica* risultano evidenti le connessioni fra la filosofia stoica e l’opera di Euclide, grazie alle quali si può recuperare tutto il valore dell’opera e del suo metodo dopo duemila anni, liberandola altresì dalle erronee interpretazioni che, fino al XX secolo, hanno fatto a lungo scrivere e discutere gli studiosi a proposito degli “errori di Euclide” che, come si è detto, non appartengono alla

sua concezione e teoria ma solo alle incomprensioni dei commentatori successivi.

1.4.4 Gli scienziati ellenistici

Euclide ed Archimede, i più noti scienziati, la cui figura è entrata nel mito, non furono precursori geniali e isolati di una forma di pensiero che avrebbe generato, solo nel XVII secolo, la moderna scienza, bensì esponenti di una numerosa schiera di scienziati “moderni”. È importante ricordarne alcuni, per i legami che ebbero con Euclide e perché la conoscenza dei loro studi fornisce il quadro della cultura scientifica del tempo¹⁰:

- Aristarco di Samo (310-230 a.C.). Fu un grande geometra, come è dimostrato dal trattato pervenutoci *Sulle distanze e dimensioni del sole e della luna*. Egli per primo ha formulato l'ipotesi eliocentrica. Archimede, nella sua opera *Arenario*, ne riporta l'ipotesi “che le stelle fisse e il sole rimangono immobili, che la terra gira intorno al sole sulla circonferenza di un cerchio, stando il sole al centro dell'orbita”. La caratteristica “moderna” di questo, come degli altri scienziati ellenistici, sta nel proporre non un'affermazione sulla realtà bensì ipotesi di studio da dimostrare. A lui e ai suoi scritti si riferirà Copernico (1473-1543) nei suoi studi.

- Ctesibio. Questi visse nel periodo in cui regnava Tolomeo II (285-247 a.C. circa). Diede origine alla scuola dei meccanici alessandrini. È il primo studioso e scrittore di pneumatica di cui si abbia notizia, teorico e ingegnere della cui opera si servì il sovrano per ragioni militari. Studiò la meccanica dei fluidi e la compressibilità dell'aria in parallelo agli studi sul cuore e sulla circolazione compiuti da Erofilo, giungendo a realizzare macchine tra le quali si ricordano gli organi idraulici e gli orologi ad acqua che Erofilo utilizzerà in campo medico. Scrisse *Teoremi di pneumatica* e *Commentari* che non

10) Per un approfondimento sulle figure e sulle opere dei singoli scienziati vedi: Russo L., op. cit.

ci sono pervenuti ma di cui parla un suo famoso allievo, l'ingegnere Filone di Bisanzio.

- Eratostene. Fu il più importante e famoso bibliotecario di Alessandria. Poeta, filologo, geografo e matematico, nacque a Cirene nel 274 a.C. e morì nel 192. Fu allievo di Callimaco di Alessandria e studiò filosofia ad Atene. Fondò la geografia scientifica e il suo più famoso risultato è una misurazione estremamente precisa del meridiano terrestre.

- Archimede, il cui genio è entrato nella leggenda, è vissuto fra il 287 e il 212 a.C. Si ritiene abbia studiato ad Alessandria e si sa che con gli studiosi Alessandrini mantenne sempre un contatto epistolare, anche quando lavorò a Siracusa. Fu un grande scienziato teorico ma anche un costruttore e un tecnico. Si occupò di astronomia, meccanica, geometria, ottica e inventò l'idrostatica. I suoi studi sulla quadratura delle figure piane diedero origine al calcolo infinitesimale. I trattati pervenutici lo dimostrano grande matematico: *Sull'equilibrio dei piani*, *Quadratura della parabola*, *Il metodo*, *Sulla sfera e sul cilindro*, *Sulle spirali*, *Sui conoidi e gli sferoidi*, *Sui galleggianti*, *Misura di un cerchio*, *Arenario*. Scrisse anche un trattato di catottrica, andato perso. Resta in merito solo la notizia, forse leggendaria, della costruzione di specchi ustori, allestiti per bruciare le navi romane che assediavano Siracusa. A lui è attribuita l'invenzione della vite di Archimede, o coclea, con cui furono realizzate pompe per l'acqua. Fu ucciso dai romani durante la conquista della città di Siracusa.

- Apollonio di Perga. Nacque intorno al 262 a.C. e visse ad Alessandria sotto il regno di Tolomeo Evergete (247-222 a.C.). Fu uno dei più grandi matematici dell'antichità, noto per aver rivendicato la dignità del lavoro teorico. Di lui è giunto sino a noi solo il trattato sulle sezioni coniche, un'opera di cui è peraltro andato perso, in quanto incompreso da copisti e da commentatori, l'ottavo e ultimo libro. Si sa da altre fonti che scrisse anche *Sul secare con un dato rapporto*, *Sulla sezione di un'area*, *Sulla sezione determinata*, *Sulle*

tangenti, Luoghi piani, Inclinazioni: tutte opere che non ci sono giunte.

- Ipparco di Nicea. Fu il più grande astronomo dell'antichità. Svolse la sua attività ad Alessandria e a Rodi e di lui si hanno notizie fra il 161 e il 126 a.C. Per gli studi astronomici utilizzò la trigonometria, scoprì la precessione degli equinozi, calcolò il mese lunare medio, introdusse l'uso di longitudine e latitudine come coordinate geografiche, utilizzò gli epicicli e gli eccentrici di Apollonio per gli studi astronomici. Fece un catalogo delle stelle fisse e si sa che migliorò gli strumenti per le osservazioni astronomiche. Di lui rimane un *Commentario ai Fenomena di Eudosso e Arato*, un'opera poco importante di carattere probabilmente divulgativo.

- Crisippo (281-204 a.C.). Filosofo stoico vissuto ad Atene, scrisse moltissime opere di cui non sono rimasti che pochi frammenti. È il fondatore della teoria scientifica della logica proposizionale.

Un approfondimento particolare è necessario per l'opera e il metodo di Erofilo, fondatore della medicina scientifica, per lo stretto legame che i suoi studi, in particolare quelli di oftalmologia, ebbero con gli studi di ottica di Euclide.

È importante rilevare che, grazie agli studi che vanno da Eratostene a Ipparco, nella cultura ellenistica nacquero per la prima volta idee relative alla misurazione scientifica del tempo e dello spazio e iniziò il tentativo di rappresentazione scientifica del mondo fisico e della storia umana.

L'eredità culturale di quest'epoca e dei suoi rappresentanti non può limitarsi al riconoscimento degli enormi risultati conoscitivi raggiunti e delle realizzazioni tecniche, è indispensabile porre in rilievo come, per la prima volta nella storia, venga utilizzato, con consapevolezza teorica, il metodo scientifico e come ciò sia stato alla base dello sviluppo della scienza nella civiltà occidentale.

Capitolo 2 - Erofilo: la nascita della scienza medica, l'oftalmologia e la scienza della visione

2.1 Premessa

La collaborazione fra gli scienziati che caratterizzò il III secolo a.C., periodo d'oro dell'epoca ellenistica, fu foriera di risultati di rilievo, consentendo alle diverse discipline di arricchirsi reciprocamente delle scoperte fatte nei rispettivi campi dello scibile umano. I risultati raggiunti nel campo della medicina da Erofilo di Calcedonia e dalla sua scuola sono particolarmente interessanti in quanto pongono in evidenza la novità ed i grandi risultati della scienza medica ellenistica e consentono di sottolineare le strette relazioni presenti fra le sue scoperte di oftalmologia e i concetti matematici e geometrici alla base dell'*Ottica* di Euclide.

Tramite Galeno, celebre medico del II secolo d.C., fonte praticamente unica delle notizie biografiche su Erofilo, si sa che nacque a Calcedonia, in Asia Minore, e fu allievo di Prassagora di Cos, dunque di formazione ippocratica e razionalista. Lavorò al Museo di Alessandria nel tempo che va fra il regno di Tolomeo I Sotere (367-283), re dal 304, e quello di Tolomeo II Philadelpho (308-246), re dal 283. Si presume dirigesse il servizio sanitario pubblico che era stato creato in Egitto, ad Alessandria, dai Tolomei e veniva gestito dal Museo. Già sotto i Faraoni i medici egiziani erano ufficiali pubblici pagati dallo stato che offrivano trattamento gratuito ai loro pazienti. Questa pratica venne continuata nel periodo tolemaico e risulta che i Tolomei raccogliessero una "tassa medica" (iatrikon).

2.2 Le fonti

Nessuno dei trattati di Erofilo ci è pervenuto.

Nel volume *Herophilus - The Art of Medicine in the Early Alexandria*, pubblicato nel 1989, H. Von Staden, a seguito di un ampio lavoro di ricerca e di analisi delle testimonianze relative al

medico alessandrino, pubblica tutti i frammenti antichi di vari autori, sia nella lingua originale che tradotti, compiendo un lavoro di ricostruzione che offre un quadro impressionante delle scoperte, della scienza e degli insegnamenti di Erofilo e della sua scuola.

Galeno è una delle fonti principali di notizie sul medico alessandrino ma testimonianze dell'opera di Erofilo restano anche negli scritti di molti altri autori, quali Cornelio Celso (14 a.C. – 37 d.C.), Rufo di Efeso (I secolo d.C.) e Calcidio (IV secolo d.C.).

Nell'epoca ellenistica rivestirono una notevole importanza i testi scritti, ampiamente usati per l'educazione degli allievi che studiavano medicina, filosofia o retorica. Anche Erofilo scrisse i suoi testi con scopi primariamente pedagogici. E' praticamente certo che scrisse almeno otto volumi. Nei secoli successivi, quando la scuola di Erofilo fiorì fuori dall'Egitto, i suoi scritti continuarono a svolgere un ruolo centrale nell'insegnamento della medicina e ciò favorì la loro sopravvivenza nel tempo. Anche l'espulsione di una larga porzione dell'intelligenza alessandrina da parte di Tolomeo VIII Evergete II nel 145 a.C. fece sì che gli studiosi esiliati portassero via con sé molti libri tra i quali vari lavori di Erofilo, che erano tra i più stimati in Alessandria. L'ampia diffusione delle sue opere permise la loro sopravvivenza al rogo della Biblioteca di Alessandria del 48 a.C., anni dopo la scomparsa del loro autore.

Erofilo, che Von Staden definisce “il primo e più grande dei rappresentanti alessandrini della medicina scientifica”, verrà poi dimenticato, “precipitato nell'oscurità” dalla successiva fama di Galeno, che peraltro conosceva i suoi studi e lo cita più volte nelle sue opere.

Quando nel Cinquecento in Italia vi fu grande interesse per la cultura ellenistica ed avvenne un recupero degli scritti di quell'epoca, come per l'astronomia gli studiosi si rifecero ad Aristarco, per la medicina fu rivalutato il contributo di Erofilo, che verrà chiamato “il Vesalio dell'antichità”. Abbiamo testimonianze in tal senso da Andrea

Vesalio, Andrea Cesalpino e Gabriele Falloppio. Quando Falloppio afferma nelle sue *Observationes anatomicae* (Venezia, 1561) che l'autorità di Erofilo, riguardo l'anatomia, è per lui Vangelo ed ha maggior valore dell'opinione di Galeno, ci si rende conto che non è possibile che egli abbia conosciuto l'opera dello scienziato alessandrino solo attraverso Galeno stesso. Si ritiene dunque che gli scritti di Erofilo siano giunti al XVI secolo anche se i medici e gli studiosi che sono entrati in possesso delle sue opere non li hanno pubblicati. Le annotazioni di Leonardo, ad esempio, fanno riferimento a libri da lui letti su Archimede; Leonardo fornisce informazioni e notizie biografiche e attribuisce al medesimo l'invenzione di oggetti altrimenti sconosciuti; è evidente che egli ha a disposizione libri che non sono giunti al XX secolo. Allo stesso modo gli scritti di Erofilo sono stati letti e studiati fino all'epoca rinascimentale ma, non essendo stati oggetto di trascrizione e di stampa, non sono giunti fino ai nostri tempi.

2.3 La scienza medica

Si è detto come la cultura e la scienza delle epoche successive a quella ellenistica subirono un arresto ed un regresso. Conoscendo l'opera di Erofilo non attraverso i suoi scritti ma attraverso autori che, come Galeno, non erano più in grado di comprendere la novità metodologica e concettuale alla base dei suoi studi, è risultato più difficile agli studiosi stabilire se la medicina e l'anatomia di Erofilo possa essere definita scientifica, cioè: basata su dati empirici, certa nel suo interno a ragione della struttura deduttiva e applicabile a problemi concreti mediante regole di corrispondenza.

È dopo un attento esame degli scritti di Galeno e degli altri autori che riportano il pensiero di Erofilo che Von Staden, nel 1989, afferma che Erofilo ha introdotto il metodo sperimentale in medicina, ha contribuito a una nuova concezione della lingua, introducendo la nomenclatura anatomica, ha usato teorie basate su ipotesi, con la

consapevolezza “moderna” che le teorie non possiedono valore assoluto di verità. Dunque il pensiero teorico e le applicazioni pratiche permettono a Von Staden di definire Erofilo “il fondatore dell’anatomia e fisiologia scientifica”, uno dei fondatori, unitamente ad Euclide, del metodo scientifico.

Per primo Erofilo praticò l’anatomia, facilitato dalla cultura alessandrina, che non muoveva obiezioni di principio allo studio dei cadaveri; alcuni ritengono che avesse a disposizione non solo cadaveri ma anche condannati, per esperimenti “in vivo”. Creò la fisiologia, basandosi sulla dissezione del corpo umano, pur non disdegnando le possibilità di indagine offerte dalla disponibilità di animali. Per primo individuò nel cervello la sede del pensiero e delle sensazioni e, studiando il sistema nervoso, distinse i nervi motori e sensori, cosa possibile solamente se la ricerca è fatta appunto “in vivo”. Di tutto ciò riferiscono Rufo di Efeso, medico greco della seconda metà del I secolo d.C., e Galeno il quale gli attribuisce la conoscenza dettagliata, fra gli altri, di vari nervi cranici: ottico, oculomotore, trigemino, facciale, acustico ed ipoglosso. Erofilo dedicò particolare attenzione al nervo ottico che interpretò come conduttore delle sensazioni visive al cervello. Individuò il meccanismo del movimento degli arti del corpo proprio grazie alla sua scoperta dei nervi e della loro origine nel cervello. Gli anatomisti moderni hanno in genere concluso che Erofilo, e non un qualunque altro suo predecessore o contemporaneo, può a buon diritto essere considerato il padre della neuro-anatomia.

Descrisse anche i sintomi delle malattie mentali e vi sono testimonianze che consentono di affermare che abbia altresì compiuto studi di carattere psicologico e psichiatrico, tanto che Russo ritiene fondata l’ipotesi che egli debba essere considerato il fondatore “ante-litteram” della psichiatria. Lo stesso Freud gli attribuisce la paternità dell’idea di far derivare i sogni dai desideri, basandosi sullo scritto di

Artemidoro di Daldis *Dell'interpretazione dei sogni* del II secolo d.C.¹

Descrisse poi il fegato e l'apparato digerente, coniato termini tuttora usati quali, ad esempio, duodeno e digiuno. Studiò il cuore e descrisse le sue cavità e valvole, studiò il sistema respiratorio e riproduttivo, scoprendo le ovaie e le tube, poi chiamate "di Falloppio" dallo studioso che ne riprese gli studi in epoca rinascimentale. Scoprì i dotti spermatici, distinse arterie e vene, utilizzò come strumento di diagnosi la frequenza del battito cardiaco scoprendone la correlazione con la temperatura del corpo e l'età del paziente.

Le sue descrizioni delle valvole cardiache e degli apparati circolatorio e respiratorio furono quasi certamente determinanti per i progressi compiuti da Ctesibio nel campo della pneumatica e della meccanica dei fluidi. Si sa, infatti, che Ctesibio progettò e realizzò valvole meccaniche, costruì un orologio ad acqua ed una pompa basati su di esse. A sua volta Erofilo beneficiò dei progressi e delle realizzazioni tecniche del più giovane collega, come è testimoniato dall'uso di un orologio ad acqua per le sue indagini mediche. Tale orologio era utilizzato dal medico alessandrino nelle attività di diagnosi per la misurazione del battito ed era tarabile sull'età del paziente.

Erofilo si concentrò particolarmente sulla misurazione e sullo studio del battito cardiaco, delle sistole e delle diastole; alcune sue affermazioni al riguardo, riportate da Rufo di Efeso, medico di età imperiale, suggeriscono una notevole familiarità da parte sua con la terminologia ed i concetti matematici propri degli *Elementi* di Euclide.

Per lo studio del polso fece poi ricorso alla musica e alla metrica del tempo, tanto che Plinio afferma che i suoi allievi di medicina dovevano essere portati alla musica e alla metrica.

Affermò anche l'importanza della prevenzione nella cura delle malattie e l'utilità dell'esercizio fisico per mantenere la salute; è noto

1) Freud S., *L'interpretazione dei sogni*, Boringhieri, Torino, 1973. L'affermazione è in una nota posta a conclusione del terzo capitolo (*Il sogno come soddisfazione di un desiderio*)

poi come prescriveva diete e farmaci a base di vegetali, animali e minerali.

Poco è stato trasmesso ai posteri delle sue descrizioni anatomiche. A sopravvivere più chiaramente e in quantità più copiosa, nei testi e nelle memorie delle epoche successive, è l'innovativa nomenclatura anatomica di Erofilo.

Tale nomenclatura consente un interessante parallelo tra Erofilo ed i matematici ellenistici in merito all'uso di termini nuovi e di nuove metodologie.

Erofilo non solo supera il tabù della cultura greca classica relativamente alla dissezione dei cadaveri ma supera altresì il tabù intellettuale relativo al concetto platonico dei “nomi naturali delle cose” scelti da “legislatori originari” che avrebbero creato le varie lingue. Introduce liberamente una nomenclatura anatomica, che in gran parte sopravvive tutt'oggi, scegliendo le strutture anatomiche che giudica meritevoli di un nome. I nomi scelti rivelano in lui un acuto senso delle somiglianze visuali: “processo stiloideo” è una formazione ossea che Galeno afferma abbia ricevuto questo nome perché assomiglia a una penna; ad un'altra formazione, somigliante ad un faro, viene dato il nome di “processo faroide”; altri termini anatomici ancora in uso, da lui coniat, sono il “Calamus Scriptorius” o “Calamus Herophili”, inventati per indicare una cavità del cervello somigliante ad una cavità di strumenti di scrittura, e il “Torcular Herophili”, che individua una parte fortemente somigliante ad un torchio per l'uva. In modo analogo i matematici ellenistici introducono nuovi termini matematici, come non era stato fatto in precedenza nella Grecia classica. Nomi nuovi e convenzionali per definire concetti matematici sono, ad esempio, usati anche da Archimede (conoidi, sferoidi) e da Apollonio di Perga (ellissi, parabola, iperbole).

Dopo il declino dell'ellenismo ciò non accadrà più se non nel XVII secolo quando la cultura europea, che aveva già recuperato le opere ellenistiche, riprende il metodo sperimentale e il metodo delle classificazioni.

Così come Galeno, fonte talora unica di notizie su Erofilo, non comprendendo più l'uso da parte degli scienziati ellenistici di modelli teorici, cioè di teorie basate su ipotesi, non è più in grado di capire pienamente la scienza medica di Erofilo, anche i commentatori e i redattori dell'*Ottica* di Euclide non riusciranno ad interpretare i concetti da lui espressi.

Erofilo non fu una personalità isolata nell'ambito della medicina. Il suo contemporaneo Erasistrato di Ceo, che svolse la sua attività ad Antiochia, è anch'egli annoverato tra coloro che studiarono e praticarono la medicina come una scienza. Proprio le notizie riguardanti un allievo di Erasistrato, Andrea, medico di Tolomeo IV Filopatore, offrono un'ulteriore testimonianza delle interazioni tra i medici ed i meccanici alessandrini, in quanto si sa di una macchina, fatta costruire da lui, per ridurre la lussazione degli arti.

Si è detto che Erofilo non si limitò alla ricerca ma insegnò e fondò una scuola, che fu attiva fino al I secolo d.C., all'interno della quale il moltiplicarsi delle conoscenze generò varie specializzazioni mediche. Demostene Filalete, ad esempio, uno degli ultimi esponenti della scuola di Erofilo, vissuto in Egitto nel I secolo d.C., si interessò particolarmente agli studi di oftalmologia e nessun autore antico ebbe un impatto più durevole del suo nella cultura scientifica medica. Il suo lavoro *Ophthalmicus* è citato da molti altri autori parola per parola: ben quaranta testi, fra quelli a noi giunti, contengono sue citazioni. Egli dà descrizioni dettagliate dell'occhio, degli strati dell'occhio, del nervo, del chiasma ottico, della connessione fra occhio e cervello, dei problemi della vista e dei modi per trattarla. Parla di quaranta tipi di malattie dell'occhio, dalla miopia al glaucoma, dal calazio alla paralisi

delle palpebre ed ai tumori. Furono fatte traduzioni latine del suo testo dal X al XIII secolo ed i suoi scritti furono alla base delle conoscenze oculistiche per tutto il medioevo. Un frammento di Crisippo parla delle operazioni di rimozione delle cataratte e dimostra che queste venivano fatte già nel III secolo a.C.; certo è che Demostene Filalete eseguiva tali operazioni nel I secolo d.C.

L'occhio è peraltro l'unico organo sul quale Erofilo stesso abbia scritto un trattato specifico ed il suo contributo in tale campo fu di tale importanza ed ebbe tale notorietà che si ha notizia di molti medici romani che, specializzati nel curare gli occhi, presero il nome di Erofilo. È stata anche ritrovata una pietra preziosa, una corniola, di epoca romana, usata come tappo per un vaso riportante la scritta "Herophili Opobalsamum", che conteneva sicuramente un preparato per gli occhi.

2.4 L'oftalmologia e l'Ottica

L'oftalmologia rappresenta una branca della medicina greca che in Alessandria ha ricevuto stimoli, anche se limitati, dalla tradizione medica indigena egiziana. Erodoto parla dell'esistenza di medici egiziani specialisti dell'occhio per una menzione esplicita che egli ha trovato nei papiri dell'epoca faraonica mentre altri papiri faraonici trattano delle malattie degli occhi. Gli studi degli egiziani influenzarono certamente gli studi oftalmici di Erofilo ma egli è il primo a studiare l'anatomia interna dell'occhio e ad introdurre una nomenclatura; il suo studio *Sugli occhi* è uno dei primi trattati greci ad essere stato dedicato esclusivamente all'oftalmologia.

Notizie dei suoi studi di oftalmologia si trovano nei testi di diversi studiosi tra cui Rufo di Efeso, Calcidio, Cornelio Celso e Galeno.

Galeno, nei tre trattati *Procedure anatomiche*, *I miei libri* e *Sulle cause dei sintomi*, allude alla scoperta del nervo ottico e dei quattro strati dell'occhio: sclera-cornea, iride, retina e corioide.

L'attenzione di Galeno è concentrata, comunque, sulla nomenclatura, spesso a discapito delle descrizioni anatomiche.

In questi trattati viene sottolineato come Erofilo usi, per indicare il nervo ottico, il termine “poros”, termine che significa “passaggio”, “stretto”, “canale”, già usato per il nervo ottico ed il tratto ottico da Aristotele. Lo stesso termine è già stato usato da Alcmeone di Crotona per tutte le connessioni dei sensi col cervello e in tal senso lo usa anche Platone. Galeno però, nel suo trattato *Sulle cause dei sintomi*, sottolinea l'uso del termine “poros” da parte di Erofilo in quanto questi lo utilizza per indicare esclusivamente, fra i nervi sensoriali, il nervo ottico, mentre usa, per gli altri nervi in genere, la parola “neuron”. Galeno ipotizza che tale distinzione sia dovuta al fatto che nei “poroi” è chiaro e percettibile il “passaggio per il pneuma”, il “lumen”.²

Anche Calcidio, che spesso non distingue fra i propri contributi e quelli del medico alessandrino, traducendo in latino il *Timeo* di Platone, nel 400 d.C., scrive nel suo commento che, nell'opinione di Erofilo, ci sono due stretti passaggi, portatori di luce, contenenti “spirito naturale”, o “pneuma physicon”, che vanno dalla sede del cervello, nella quale si trova il più alto potere dell'anima, alla cavità degli occhi.³ La distinzione tra pneuma naturale, che nutre gli esseri viventi, e il pneuma psichico, che è responsabile dell'attività motoria e sensoria, è riportata da Galeno il quale critica le spiegazioni di Erofilo sull'estensione del pneuma nel sistema nervoso.

Riguardo poi all'anatomia del bulbo oculare, si sa, tramite il *De*

2) Galeno, *De symptomatum causis* 1.2 (VII, pp. 88-9K), in Von Staden, op. cit., pag. 203: “The nerve which proceeds down from the brain to the eye – which Herophilus and his followers in fact also call a ‘passage’ (*poros*), because its perforation [*lumen?*] alone [sc. unlike that of other nerves] is clearly visible – seems to me to exist as a pathway for sensory pneuma.”

3) Calcidio, *In Platonis Timaeum comment.* 246 pp. 256.22-257.15 Waszink (*Corpus Platonicum Medii Aevi: Plato Latinus* IV) in Von Staden, op. cit., pag. 203: “[...] duas esse angustas semitas quae a cerebri sede, in qua est sita potestas animae summa et principalis, ad oculorum cavernas meent naturalem spiritum continentes;”

anatomia partium hominis scritto da Rufo di Efeso, come Erofilo distingue, quale secondo strato dell'occhio, la "coroide", a cui lui dà tale nome per la sua somiglianza alla membrana di un feto (*chorion*), paragonandola, però, anche alla buccia di un acino d'uva.

Cornelio Celso, nel suo scritto *Medicina*, fornisce ulteriori notizie sulle conoscenze oftalmiche di Erofilo quando afferma che cornea, sclera e coroide rinchiudono le parti interne dell'occhio, descrive come vadano ad attaccarsi alla membrana del cervello e spiega come, sotto di esse, dove si trova la pupilla, vi sia uno spazio vuoto e poi nuovamente sotto di questo si trovi lo strato più sottile "quam Herophilus arachnoidem nominavit", la retina.⁴

Anche Rufo di Efeso, nel suo testo *De nominatione partium hominis*, offre altri dati di anatomia dell'occhio di epoca ellenistica: afferma che "il terzo [strato dell'occhio, retina?] rinchiude del liquido vitreo", che l'antico nome, con il quale è chiamato, è "a-tela-di-ragno", a motivo della sua sottigliezza, ma che, siccome Erofilo paragona questo strato ad una rete da pesca che qualcuno abbia stesa, alcuni lo chiamano "rete" mentre altri lo chiamano "vitreo" a motivo del liquido.⁵

Partire dal presupposto che Euclide fosse a conoscenza degli studi di Erofilo nel campo dell'oftalmologia permette di comprendere alcuni aspetti della sua *Ottica* che rimarrebbero altrimenti inspiegati. La conoscenza dell'esistenza del nervo ottico, al quale Erofilo attribuisce il compito di portare le sensazioni visive al cervello, la conoscenza della struttura della retina, simile ad una ragnatela, unitamente alla consapevolezza della funzione dei nervi sensori

4) Cornelio Celso, *Medicina* 7 (*Artes* 12).7.13B (*CML* 1, p.319 Marx) in Von Staden, op. cit., pag. 205

5) Rufo di Efeso, *De nominatione partium hominis* 153 (p. 154 Daremberg/Ruelle) in Von Staden H., op. cit., pag. 206

possono facilmente aver suggerito l'idea dell'esistenza di un insieme discreto di fotorecettori.

Il modello matematico della visione costruito dallo Stichiote ha una corrispondenza nelle scoperte del suo collega medico: nella sua teoria considera un insieme discreto di "raggi visuali", uno per ciascun elemento strutturale attivo della retina. Questa corrispondenza spiega quantitativamente il potere risolutivo dell'occhio umano: gli oggetti lontani sono raggiunti da un minor numero di raggi visuali e vengono dunque visti con meno particolari perché la quantità delle informazioni diminuisce col diminuire della porzione di retina interessata; gli oggetti raggiunti da più raggi visuali sono visti invece più dettagliatamente. Tale correlazione risulterà particolarmente evidente nell'esame delle premesse prima, terza e settima⁶ e dei primi tre teoremi.

Nel modello euclideo i raggi visuali non sono poi distribuiti uniformemente ma sono più fitti al centro del cono visivo in quanto corrispondono nella loro struttura alla retina, che è più fitta al centro ed era, per questo motivo, paragonata da Erofilo ad una ragnatela.

Si può concludere che l'ottica di Euclide è un modello matematico dell'atto fisiologico della visione e che il suo studio sul fenomeno visivo presuppone gli studi di anatomia di Erofilo. Dopo la decadenza della cultura ellenistica gli studiosi, non comprendendo più, per quasi duemila anni, la possibilità di elaborare un simile modello di un processo fisiologico, mal interpreteranno quest'opera che, pur stimata fondamento dell'ottica geometrica e riferimento di base per questi studi, sarà considerata erronea in alcune sue premesse che diverranno oggetto di lunghe quanto inutili controversie.

6) Numerazione delle premesse come nel testo di Heiberg e nelle sue traduzioni.

CAPITOLO 3: Euclide e l’*Ottica*

3.1 La vita

Il luogo e la data di nascita e di morte di Euclide (fig. 3.1) sono ignoti. Le notizie relative al luogo nel quale svolse la sua attività intellettuale hanno fatto sì che la convenzione lo indichi come Euclide di Alessandria o Euclide “Stichiote, et geometra” come lo definisce Proclo, anche per evitare confusione con Euclide di Megara, discepolo di Socrate e contemporaneo di Platone. Visse infatti ad Alessandria, verosimilmente intorno al 300 a.C. sotto il regno di Tolomeo I Sotere (367-283 a.C.) re d’Egitto dal 323 a.C.

Si ritiene che la sua massima attività si sia svolta tra il 320 a.C. e il 260 a.C. e che sia morto sotto il regno di Tolomeo II Filadelfo (308-246 a.C.), re dal 285 a.C. Ciò si può desumere dalle citazioni pervenuteci, in quanto sappiamo che Euclide fu più anziano di Archimede, il quale cita una sua proposizione nella sua opera *Sulla sfera e sul cilindro*; sembra inoltre potersi evincere che i due scienziati furono contemporanei da un passo del sunto di storia della geometria presente nell’opera *In primum Euclidis* di Proclo di Bisanzio. Pappo di Alessandria afferma poi che Apollonio di Perga fu allievo di Euclide ed è noto che Apollonio ha svolto la sua attività di matematico sotto il regno di Tolomeo III Evergete (284-221 a.C.), re dal 246 a.C., e Tolomeo IV Filopatore (244-204 a.C.), re dal 221 a.C.

Si hanno inoltre notizie, sempre tramite Proclo, dei contatti di Euclide con i primi discepoli di Platone all’Accademia. Ciò ha fatto supporre che lo Stichiote sia stato anche ad Atene ad insegnare la matematica, alla quale il pensiero platonico attribuiva assoluta importanza, in quanto espressione diretta dell’essere divino.

La maggioranza degli studiosi considera poi evidente l’influenza, sul pensiero di Euclide, del sistema logico di Aristotele, a motivo della struttura in postulati e assiomi del I libro degli *Elementi*.



Figura 3.1 - Dipinto raffigurante probabilmente Euclide
(Wolfenbuettel, Herzog August Bibliothek, Cod. Guelferbytanus 2403, Aug. 2°, f. 36.23, 69v.)
in Euclide, *Gli Elementi*, a cura di Attilio Frajese e Lamberto Maccioni, UTET, Torino, 1970.

Si è detto che la città di Alessandria, dove sicuramente visse ed insegnò, era uno dei massimi centri di vita intellettuale e commerciale di quel tempo, ruolo che mantenne anche dopo la conquista romana e la decadenza del regno ellenistico di Egitto. Nella Biblioteca e nel Museo vivevano eruditi e scienziati che insegnavano, studiavano e raccoglievano da tutte le parti del mondo con cui l’Egitto aveva rapporti e scambi commerciali ed economici, manoscritti e opere che provvedevano a tradurre, analizzare, sistemare, completare, rivedere, producendo altresì un corpus di opere originali tanto vasto per quantità e qualità da costituire per sempre nella storia della conoscenza umana una pietra miliare di riferimento.

Euclide visse dunque in un periodo di pace e di prosperità, nel “secolo d’oro”; la sua opera si svolse in un ambiente di intensa attività culturale, ricco di scambi fra gli studiosi, e fu parallela ad una vivace attività didattica, come è confermato dall’aneddotica. I suoi scritti dimostrano la sua genialità, la straordinaria cultura e l’aspetto poliedrico del suo sapere.

3.2 Le opere

3.2.1 Gli *Elementi*

La più nota tra le opere scritte da Euclide, presupposto necessario dell’*Ottica*, è gli *Elementi*, opera che ha esercitato sulla cultura occidentale e nella storia culturale dell’umanità un’influenza paragonabile solo a quella della Bibbia. Si è detto che è un’opera di altissimo livello scientifico e per millenni è stata considerata un modello insuperabile di coerenza interna, il vertice più alto a cui possa spingersi la ragione umana.

Per questo trattato Euclide fu chiamato “il Geometra” e “l’autore degli *Elementi*”, anche se la cultura greca aveva già prodotto altri scritti con quel titolo ad opera di Ippocrate di Chio, di Leone il matematico, di Teudio di Magnesia.

L’opera ci è giunta priva dell’introduzione dell’autore ma da Proclo [*In primum Euclidis*] si può trarre l’idea della struttura che Euclide aveva evidenziato nelle premesse. Proclo testimonia infatti che nelle premesse Euclide affermava che la scienza della geometria si basa su presupposti e da questi giunge alle conseguenze (proposizioni o teoremi). Asseriva anche che i principi base vanno esplicitati all’inizio dell’opera per separare i fondamenti della scienza esposta dalle relative conseguenze e che la chiarezza logica delle argomentazioni garantisce la validità del risultato che viene dedotto dalle premesse esplicitate agli inizi dell’argomentazione logica. Vi sono così principi indimostrati e conseguenze dimostrate.

Come si è detto, la grandezza del trattato, che riunisce teoremi già noti prima di lui, non sta nella sua originalità ma nell’unità logica degli argomenti dimostrativi e nella concatenazione deduttiva delle varie proposizioni che formano “reti indefinitamente estendibili di teoremi, ricavabili da un piccolo numero di affermazioni ben individuate”.¹ Tale connessione dei risultati matematici consente poi l’estensione della teoria e il fare esercizi.

Il pensiero filosofico-scientifico ellenistico perviene, con gli *Elementi*, al primo sistema ipotetico deduttivo, chiave di volta di tutto il progresso scientifico di quel tempo e delle epoche successive, parametro di riferimento di ogni costruzione logico-deduttiva. Il medesimo sistema ipotetico-deduttivo e la medesima struttura verranno applicati da Euclide allo studio della visione, fondando così la scienza della visione.

L’unico “neo” degli *Elementi* fu considerato il celebre V postulato, quello delle parallele, che, dopo secoli di ricerche, condusse gli studiosi al sorprendente risultato della possibilità logica di geometrie non euclidee e al loro sviluppo.

1) Russo L., op. cit., pag. 72

Il trattato è costituito da 13 libri ed ebbe numerose riedizioni sin dall’antichità. Nel 1814 Peyrard scoprì un’edizione più antica e meno interpolata di quelle sino ad allora diffuse che erano edizioni dipendenti da Teone, valente studioso e compilatore di Alessandria del IV secolo d.C., il quale, come si è detto, scrisse anche un’edizione dell’*Ottica* di Euclide. Anche negli *Elementi*, come nell’*Ottica*, si vede, facendo il confronto con la copia più antica, come Teone apporta interpolazioni e tagli. Fra i primi a porlo in rilievo lo studioso Heath nella sua *History of Greek Mathematics* del 1921. Lo studio condotto da L. Russo, *Sulla non autenticità delle definizioni degli enti geometrici fondamentali contenute negli Elementi di Euclide*, descrive, dopo una minuziosa ricerca nelle fonti letterarie disponibili, come il testo degli *Elementi* abbia interpolazioni provenienti dal testo *Definizioni dei termini della geometria*, scritto di Erone di Alessandria, il quale definisce i vocaboli tecnici della geometria basandosi su concetti platonici ed aristotelici. Mentre i primi autori non attribuirono ad Euclide ciò che oggi compare agli inizi degli *Elementi*, i manoscritti che ci sono pervenuti non distinguono più la diversa provenienza. L’esame della trasmissione degli *Elementi* è importante per la ricostruzione dell’autentico testo degli *Elementi* perché consente la giusta interpretazione del pensiero di Euclide e conferma il problema più generale della ricostruzione dei testi della scienza ellenistica e richiama in particolare l’analogo problema per il testo dell’*Ottica*.²

2) Russo L., *Sulla non autenticità delle definizioni degli enti geometrici fondamentali contenute negli Elementi di Euclide*, in “Bollettino dei Classici”, Accademia dei Lincei, 13 (1992), pp. 25-44., pag. 43. “In conclusione [...] emerge [...] la seguente ricostruzione: a) Euclide non aveva affatto inserito nella sua opera le prime sette definizioni, lasciando correttamente non definiti gli enti fondamentali. b) In età imperiale il decadimento del livello scientifico rese incomprensibile la scelta di Euclide e la mancanza delle definizioni degli enti geometrici fondamentali apparve una lacuna del testo degli *Elementi*. c) Tale supposta lacuna fu colmata inserendo nel testo degli *Elementi* estratti dal manuale didattico compilato da Erone di Alessandria che aveva attinto liberamente sia alla tradizione pre-ellenistica che ai matematici del III secolo a.C.”

Le modifiche apportate nei due trattati sono causate dalle limitazioni di Teone nella interpretazione dei testi, che egli non era più culturalmente in grado di comprendere appieno, e, probabilmente, anche dalla necessità di rendere comprensibile agli studenti ciò che esponeva.

Gli arabi tradussero l’opera nel VII secolo e dalle loro traduzioni derivarono le traduzioni latine del 1120 e del 1482.

Il primo libro degli *Elementi* si apre dunque con le definizioni di: punto, linea, linea retta, superficie, superficie piana, angolo piano, angolo rettilineo, cerchio, triangoli, quadrilateri, sino alle parallele.

Seguono i postulati, tra i quali il V postulato delle parallele di cui sopra. Ai postulati seguono le “nozioni comuni” o “assiomi” che impongono le regole dell’argomentare dimostrativo, relativo ai termini di uguaglianza e disuguaglianza. Nel libro I vi sono proposizioni, dedotte dagli insiemi degli enunciati di partenza, distinte in problemi e teoremi; la proposizione XLVII è quella che contiene il teorema di Pitagora. I libri dal II al IV sviluppano la trigonometria circolare; il libro V la teoria generale delle proporzioni, già scoperta da Eudosso di Cnido, qui risistemata e ampliata. Il libro VI fa uso della teoria delle proporzioni per trattare le figure simili e costituirà la base delle successive trattazioni delle coniche da parte di Apollonio. I libri dal VII al IX sono relativi alla teoria dei numeri; il libro X parla delle quantità irrazionali. I libri dall’ XI al XIII fondano la geometria solida e vi si trovano il metodo di esaustione e la costruzione dei solidi inscritti nella sfera.

I teoremi e le dimostrazioni dell’*Ottica* hanno il loro fondamento, sono confrontabili e talora sono la diretta conseguenza dei teoremi e delle proposizioni degli *Elementi*.

3.2.2 Altre opere

L’opera *I dati* è la sola ulteriore opera di geometria pura, scritta da Euclide, che ci sia pervenuta. È costituita da 94 teoremi che hanno

fondamento nei primi sei libri degli *Elementi*. L'opera fu usata e studiata perché facilita le procedure di analisi. Pappo, matematico del IV secolo d.C., nella sua opera *Collezione*, manuale nel quale disquisisce di tutta la geometria greca, parla infatti del *Tesoro di Analisi*, un'opera di Apollonio, Aristeo ed Eratostene, che raccoglieva appunto i trattati di Euclide (*I dati*, *Porismi* e *Luoghi superficiali*).

L'opera *Sulla divisione delle figure* è stata in parte conservata in lingua araba e latina. Le dimostrazioni mancanti sono ricostruibili da un testo di Fibonacci del 1220 che si basava su un manoscritto o una traduzione successivamente perduta. Di quest'opera parla Proclo, del quale si ha un importante commento al primo libro degli *Elementi* in cui fornisce appunto notizie sulla storia della geometria.

Gli *Pseudaria*, i *Porismi*, le *Coniche*, i *Luoghi superficiali* sono opere di Euclide andate perdute.

Gli *Pseudaria* sono descritti da Proclo; dei *Porismi* parlano Pappo e Proclo. Gli accenni pervenutici lasciano intuire come quest'ultima opera fosse un trattato di matematica superiore la cui perdita è considerata grave e del quale alcuni matematici tentarono una ricostruzione.

Sulle *Coniche* si hanno notizie da Pappo e abbiamo informazioni dalle successive *Coniche* di Apollonio.

Dei *Luoghi superficiali* non si hanno notizie se non in due lemmi riportati da Pappo da cui si deduce che l'opera trattava probabilmente di cilindri, coni e sfere, forse un'anticipazione dell'opera di Archimede *Sui conoidi e gli sferoidi*.

Proclo dà notizia altresì di un'opera dedicata alle dimostrazioni fallaci e agli errori concettuali in matematica dal titolo *Errori*. L'esistenza di quest'opera conferma l'attività didattica di Euclide e mostra un'analogia tematica con opere di Aristotele.

I *Fenomeni* è un'opera di astronomia basata, come gli *Elementi*, su opere precedenti e precisamente su opere di Autolico, di cui si sa che insegnava nel 323 a.C., e di Eudosso di Cnido, scienziato del IV

secolo, il quale studiò a Taranto, ad Atene, dove insegnò, ed in Egitto, ed al quale è attribuita, oltre alla teoria delle proporzioni ed alla scoperta del metodo di esaustione, anche la teoria geometrica che spiegava il moto degli astri basato su sfere omocentriche. I *Fenomeni* è un'opera nella quale vengono posti degli assiomi, legati a osservazioni empiriche, che uniscono la realtà e la teoria. Agli assiomi seguono le definizioni di orizzonte, meridiano, tropici, tempo di rivoluzione del cosmo, permutazione della circonferenza dell'emisfero visibile e di quello invisibile. Infine vi sono i teoremi che permettono di determinare la grandezza e i tempi di rivoluzione dei diversi circoli celesti.

Le osservazioni empiriche iniziali alla base dei *Fenomeni* presuppongono una realtà quale è risultante dall'*Ottica* che viene appunto citata come punto di partenza per le osservazioni stesse. La scienza della visione quale risulta dall'*Ottica* è infatti una realtà teorica che permette lo studio scientifico astronomico in armonia con la concezione stoica. Il testo originale dei *Fenomeni* è andato perduto. Sono rimaste due redazioni in manoscritti del X e XII secolo.

Proclo attribuisce poi ad Euclide anche opere di musica. È pervenuto sino a noi un trattato dal titolo *Sezione canonica* in cui è presentata la teoria pitagorica della musica. A giudizio di Heiberg, che ne ha curato l'edizione, si tratta però di un estratto, elaborato ad opera di qualche commentatore, dell'opera euclidea *Elementi di musica*.

Fonti arabe gli attribuiscono poi un libro *Sulla leggerezza e la pesantezza*. Nel 1537 H. Ervagus pubblicò un manoscritto arabo mutilo, giudicato autentico, relativo a tale opera.

Fra le opere attribuite ad Euclide vi è infine la *Catottrica*, studio sulla riflessione, sviluppato in conseguenza e in accordo con l'*Ottica*. Non vi sono però prove della paternità di Euclide e oggi alcuni studi filologici hanno indotto gli studiosi ad attribuirlo a Teone alessandrino.

Gli studi di catottrica servivano per progettare gli specchi e fra questi gli specchi ustori, cioè parabolici, noti perché una tradizione popolare leggendaria li attribuisce ad Archimede che li avrebbe utilizzati per la difesa di Siracusa. Una visibile e non leggendaria applicazione delle conoscenze di catottrica possedute in epoca ellenistica è la realizzazione del Faro di Alessandria.

Gli scritti di Euclide testimoniano, oltre alla genialità del loro autore, anche la molteplicità dei suoi interessi, poliedricità spesso condivisa dai suoi contemporanei, in quanto frutto del particolare ambiente culturale dell'epoca.

3.3 L' *Ottica*

3.3.1 La scienza della visione

L'ottica fu una delle prime teorie scientifiche ellenistiche e quello di Euclide il primo trattato di ottica geometrica della storia e, diversamente dagli *Elementi*, un'opera elaborata da Euclide in modo del tutto originale.

È la prima costruzione logica e unitaria della scienza della visione, di cui si abbia notizia, costruzione espressa in termini geometrici, basata sull'elaborazione di un sistema ipotetico deduttivo, sul metodo dimostrativo e su conoscenze di oftalmologia. Essa concerne la visione diretta.

I fenomeni della riflessione e della rifrazione sono invece oggetto della *Catottrica*, un'opera che, attribuita ad Euclide, è oggi considerata, come si è detto, di autore incerto e, secondo molti studiosi moderni, scritta da Teone.

Dopo aver compiuto la sistemazione organica di tutte le conoscenze e il sapere matematico della tradizione culturale greca che lo aveva preceduto, Euclide dispone di uno strumento formidabile che egli utilizza per studiare il processo visivo, partendo dall'idea che il risultato del rapporto fra l'occhio umano e la realtà naturale sia indagabile, secondo la concezione stoica. Partendo dunque dai

phaenomena, dalle percezioni visive, Euclide applica ad esse gli strumenti che ha a disposizione, le figure geometriche: i segmenti, le semirette, gli angoli, i con.

La razionalizzazione delle percezioni visive rende la realtà conoscibile e misurabile e permette ad Euclide di costruire una teoria. Egli scrive dunque un trattato di geometria, non formula una teoria della luce e della percezione visiva. I raggi visuali della sua costruzione logica non sono reali e legati alle idee pitagoriche o platoniche sulla visione, come poi ritenuto dai suoi commentatori e copisti, ma sono enti di una teoria generatasi dall’incontro del sapere matematico geometrico con gli studi di oftalmologia, sulla base della gnoseologia di matrice stoica.

Platone, che, nel trattato *La Repubblica*, già distingue fra il raggio visuale e il raggio di luce, entrambi ritenuti necessari per il processo della visione, affermava che alle apparenze degli oggetti visti, che mutano con la distanza, non si può dare alcun valore di verità, in quanto ingannevoli, e concludeva asserendo che tali apparenze non possono essere pertanto oggetto di scienza. Il senso della vista, il senso umano più complesso, sarà ritenuto, nei suoi risultati, inattendibile e fallace non solo nell’antichità ma anche in epoca medievale, quando gli studiosi non lo riterranno degno di uno studio “scientifico”. Euclide nel suo trattato supera l’ostacolo e mostra come le percezioni visive possano essere analizzate attraverso un metodo di cui egli è ideatore, un metodo scientifico che fa corrispondere i raggi visuali alle possibili direzioni dello sguardo.

Euclide assume la nozione di raggio visuale e compie un processo consapevole di astrazione trasformandolo in un ente teorico, il quale mantiene però un legame con la realtà concreta, dando così luogo a processi di corrispondenza. Dal termine “raggio visuale” egli elimina tutti i significati realistici perché, nella teoria che costruisce, avviene una restrizione dell’estensione semantica del termine. Nella prima premessa Euclide parla di “segmenti”, enti matematici già noti

dagli *Elementi*, che divengono “raggi” nella seconda premessa. I raggi visuali sono quindi enti di una teoria scientifica che associa le semirette che hanno origine nell’occhio con le percezioni visive. Ogni altro significato della parola, come si è detto, è escluso, perché non appartiene alle premesse e non fa parte della teoria.

Come segmenti tracciati a partire dagli occhi, i raggi si estendono in linea retta verso le cose viste formando un cono con vertice nell’occhio e base negli oggetti. La costruzione del “cono visuale” è un altro elemento fondamentale del pensiero euclideo, il cono dei raggi esce dagli occhi per dare un modello della percezione visiva. L’ampiezza dell’angolo al vertice del cono determina la grandezza apparente dell’oggetto e i raggi formano un insieme discreto con una distanza angolare reciproca variabile in quanto il modello è creato in base alla struttura della retina dell’occhio umano.

Si è detto infatti che è più che plausibile l’ipotesi che l’idea di questo studio sia nata a seguito delle indagini fisiologiche sull’occhio umano già compiute da Erodoto, suo contemporaneo e collega al Museo, e ciò è dimostrato dai postulati, la prima e la settima premessa in particolare, e dai teoremi le cui affermazioni sottintendono le scoperte di oftalmologia. La distribuzione dei raggi visuali del modello di Euclide è infatti discreta, non uniforme e più fitta al centro del cono.

La propagazione rettilinea dei raggi, che già si evince dai testi di Platone, non è asserita esplicitamente né dimostrata da Euclide ma data come fatto evidente in se stesso. Il verso di percorrenza poi non è indicato in quanto i raggi non esprimono una realtà fisica bensì una costruzione geometrica astratta.

L’opera è senza prologo, inizia con sette premesse o postulati, che verranno successivamente presi in esame, nei quali sono esposti gli elementi su cui si fonda l’opera: i segmenti rettilinei, o raggi, il cono visuale, ed i rapporti angolari che si generano fra soggetto e oggetto nel fenomeno visivo. Seguono cinquantotto teoremi con

dimostrazioni e disegni, oggetto di successiva trattazione, in cui sono analizzate le percezioni visive ed alle linee tracciate con la riga, che sono proprie delle figure degli *Elementi*, sono sostituite le direzioni dei raggi visuali.

L’*Ottica* costituisce lo studio che collega gli *Elementi* stessi, che ne sono il fondamento ed il costante richiamo, all’opera di astronomia *Fenomeni*.

Il trattato, come è pensato da Euclide, non si limita infatti a fornire descrizioni geometriche dei fenomeni naturali ma crea modelli utili per altre teorie scientifiche e per trovare soluzioni ai problemi e genera strumenti per applicazioni tecnologiche. Questa impostazione fa sì che possa essere giudicata a buon diritto un’opera appartenente alla scienza moderna, che, nata appunto nel periodo ellenistico, ebbe già allora uno stretto rapporto con l’attività tecnica.

Contribuì a studiare la realtà, come nel caso dell’astronomia, o a modificarla; essa permise, ad esempio, la progettazione di strumenti visivi per il rilevamento topografico come l’astrolabio e fu utilizzata per la scenografia e la pittura ed è all’origine della moderna prospettiva, come si vedrà nei prossimi paragrafi.

Il modello euclideo fu utilizzato per estendere lo studio al fenomeno della visione riflessa nel III secolo a.C. da Apollonio e da Archimede, che scrisse una *Catottrica*, e nel II secolo a.C. da Diocle.

L’*Ottica* è stata studiata per tutta l’antichità, nel medioevo e agli inizi dell’evo moderno ed è ancor oggi alla base dell’ottica geometrica.

Quando la casa editrice Hoepli, in Italia, nel XX secolo, stabilisce di stampare una raccolta di manuali col proposito di diffondere la cultura trattando in forma popolare le lettere, le scienze, le arti e le industrie, per insegnare l’ottica pubblica, nel 1918, una traduzione in italiano, di Giuseppe Ovio, dell’*Ottica* di Euclide che viene commentata e spiegata nelle sue utilizzazioni pratiche perché essa è ancora considerata il fondamento per insegnare la scienza della

visione, nonostante gli “errori” che vengono attribuiti alla sua impostazione.

Si vedrà come l’idea che Euclide esprima nell’*Ottica* una teoria geometrica della scienza della visione, l’idea dell’espressione matematica di un fenomeno fisiologico, nonché l’idea che tale teoria non si configuri come una “verità assoluta” ma come una “ipotesi di lavoro”, cioè una possibilità interpretativa con finalità di studio e di applicazioni tecnologiche, non sarà ben presto più compresa dagli studiosi e resterà estranea alla cultura scientifica fino alla fine del XIX secolo.

3.3.2 Errori interpretativi, concezioni filosofiche ed il problema delle trascrizioni

L’opera di Euclide ebbe grande diffusione nell’antichità e ciò ne consentì la sopravvivenza nel tempo. La decadenza dei regni ellenistici, che per l’Egitto data al I secolo a.C., portò, come si è detto, ad un rapido declino culturale, nonostante Alessandria rimanesse un centro di cultura e di studi fra i più importanti dell’Occidente e molti dei testi sopravvissuti agli incendi venissero poi copiati e studiati da redattori e studiosi romani e successivamente arabi.

Già all’inizio dell’epoca imperiale, nonostante il recupero dei trattati della scienza ellenistica vi è da parte degli studiosi romani l’incomprensione delle teorie della scienza ellenistica ed il rifiuto della dottrina conoscitiva degli stoici e del loro approccio gnoseologico, che fu alla base della nascita della scienza.

Si è detto che Russo, ad esempio, sostiene e documenta la tesi che le definizioni degli enti geometrici fondamentali con cui iniziano gli *Elementi* siano in realtà brani delle *Definizioni* di Erone di Alessandria, inseriti in età imperiale.³ Tale inserimento fu dovuto al

3) Russo L., *Sulla non autenticità delle definizioni degli enti geometrici fondamentali contenute negli Elementi di Euclide*, in “Bollettino dei Classici”, Accademia dei Lincei, 13 (1992), pp. 25-44.

decadimento del livello scientifico che rese incomprensibile la scelta di Euclide di lasciare non definiti gli enti fondamentali. La presunta lacuna del testo fu colmata inserendo definizioni, di natura platonico-aristotelica, estratte dal manuale didattico compilato da Erone di Alessandria il quale aveva attinto alla tradizione pre-ellenistica e ad altri matematici.

Proclo, filosofo neoplatonico, contribuì ad indurre un'interpretazione scorretta del pensiero euclideo sottolineando gli aspetti platonici dell'opera matematica dello scienziato. La tradizione attribuì così agli *Elementi* un forte legame con Platone, tanto che vi fu chi la considerò diretta a risolvere i problemi del platonismo, la costruzione cioè dei poliedri regolari, detti “corpi platonici”, di cui si parla nel *Timeo*.

Ma se anche il platonismo era confluito negli scritti di Euclide come sfondo culturale, come peraltro la logica di Aristotele, si è visto come siano stati altri i fattori culturali determinanti.

Mentre gli enti geometrici degli *Elementi* venivano relegati nell'ambito delle idee platoniche, perfette e incorporee, la perdita del concetto di modello e di ente teorico portò forzatamente gli studiosi a considerare entità materiali i “raggi”, enti geometrici dell' *Ottica*.

Il concetto espresso nella prima premessa relativo alla natura discreta dei raggi visuali ed alla non uniformità della loro distribuzione non è più comprensibile agli studiosi proprio perché non sono più in grado di comprendere il ruolo di modello teorico dei raggi e non concepiscono il sottinteso rapporto fra i “raggi” e l'anatomia dell'occhio. Nei secoli successivi, recuperate le conoscenze anatomiche, non saranno comunque consapevoli delle conoscenze oftalmiche euclidee e l'idea della fuoriuscita dagli occhi di raggi materiali posti a distanza gli uni dagli altri, tanto che gli oggetti che cadono in mezzo a tali raggi non possono essere visti, verrà contestata allo Stichiote e già a partire da Tolomeo gli studiosi affermeranno la “continuità” dell'emissione dei raggi, attribuendo ad Euclide

un’ulteriore “erronea” concezione.⁴ Tale erronea interpretazione è ancora presente nei commenti alle rispettive traduzioni di G. Ovio e P. Ver Eecke nel XX secolo.

La propagazione rettilinea dei raggi verrà interpretata, a partire dai primi commentatori, come un’asserzione della propagazione rettilinea della luce e nei secoli successivi verrà posta in evidenza la contraddizione che si genera con le affermazioni della *Catoptrica* che studia fenomeni quali la riflessione e la diffrazione della luce. D’altra parte ancora nel XX secolo il concetto che si ritiene Euclide abbia espresso in merito alla propagazione rettilinea del raggio luminoso viene a lui attribuito e riconosciuto come uno dei meriti più rilevanti del suo studio.

Il cono visuale, modello geometrico euclideo, traslato nella realtà materiale darà luogo ad ulteriori problemi interpretativi. Sin dal II secolo d.C. si ha testimonianza del fatto che gli studiosi si interrogavano sul punto materiale dell’occhio in cui Euclide avesse ritenuto posto il vertice del cono e tale interrogativo se lo pongono ancora nella prima metà del XX secolo gli studiosi Ovio e Ver Eecke. Quest’ultimo sottolinea che la concezione del cono visuale non corrisponde alla realtà della formazione dell’immagine sulla retina.⁵

Gli errori interpretativi hanno ovviamente una ricaduta sui teoremi le cui formulazioni e dimostrazioni non saranno sempre correttamente comprese. Subiranno pertanto manomissioni ed interpolazioni ritenute utili a chiarire il contenuto e talora a renderlo comprensibile per gli studenti.

Si è già detto che nel IV secolo d.C., Teone di Alessandria, uno dei più valenti studiosi del suo tempo, scrive una revisione

4) “Natura visibilis radii continua est necessario et non disgregata” da *L’Ottica di Claudio Tolomeo, ridotta in latino sovre la traduzione araba di un testo greco imperfetto [...] public. da Gilberto Govi, Torino, 1885 in Ver Eecke P., Euclide. L’Optique e la Catoptrique, Desclée de Brouwer, Parigi e Bruges, 1938. pag. XIV, n.3*

5) Ver Eecke P., op. cit., pag. XIV: “Cette hypothèse [...] ne permettait donc pas d’envisager une image géométriquement semblable à l’object regardé imprimée sur la retiné.”

dell' *Ottica* di Euclide e che alla sua riscrittura si deve una vasta diffusione e conoscenza dell'opera, unitamente al fraintendimento di alcuni concetti in essa contenuti. Nella revisione è aggiunta all' *Ottica* una prefazione, probabilmente opera di uno studente che annota un discorso introduttivo tenuto dal maestro; vengono poi cambiati teoremi o frasi che appaiono oscuri ed interpolate alcune dimostrazioni.

Sia l'opera originale che quella interpolata si diffusero e la grande stima in cui era tenuta l'opera di Euclide rese difficile agli studiosi il rifiuto degli errori in essa contenuti ed in particolare della teoria che i raggi visuali, intesi come entità materiali, uscissero degli occhi.

La revisione di Teone pare chiarire i principi di Euclide; in essa Teone fornisce alcune spiegazioni come se queste fossero l'esito di un colloquio con l'autore o comunque chiarimenti di Euclide stesso ai teoremi: afferma che i raggi emanati dal sole, che creano le ombre, procedono in linea retta, come dimostrano le ombre stesse, che dagli oggetti non pervengono immagini all'occhio ma che i raggi devono partire dall'occhio per determinare la visione, che la luce si propaga in linea retta e che i raggi uscenti dagli occhi hanno tra loro una certa distanza.

Mentre Euclide fornisce un modello funzionale per conoscere la realtà, Teone fa coincidere realtà e modello. Il primo copista e studioso a noi noto, a cui sono attribuibili gli errori interpretativi del testo dell' *Ottica*, è il redattore alessandrino.

Quando Teone, come forse hanno fatto altri copisti prima di lui, legge, commenta e aggiunge una revisione e varie dimostrazioni all' *Ottica*, ha presenti le scuole di pensiero che si erano occupate del problema della visione e le teorie da queste espresse e sulla base di queste interpreta l'opera di Euclide.

I commentatori successivi supporranno alla base dei concetti scientifici espressi le dottrine filosofiche pitagoriche, platoniche od

epicuree relative alla visione le quali, se anche facevano parte dello sfondo culturale dell’epoca a cui appartengono gli scritti di Euclide, erano estranee al metodo scientifico applicato dallo Stichiote e non ne costituirono un fattore determinante.

Il problema del funzionamento del senso della vista nell’ambito della conoscenza del mondo esterno si era posto all’intelligenza umana fin dai tempi antichi e il processo con il quale un osservatore perveniva alla rappresentazione del mondo reale era stato studiato da diverse scuole di pensiero in Grecia ed erano state formulate in merito diverse ipotesi.

La teoria atomistica della scuola di Democrito sosteneva che qualche cosa, un *quid*, doveva essere inviato dagli oggetti agli occhi, come avviene nell’udito; questo *quid* capace di impressionare gli occhi si riteneva portasse con sé forma e colore del corpo che lo emetteva, doveva essere come una “scorza” o “eidola” o simulacro che aveva la proprietà di contrarsi, sino a ridursi a piccolissime dimensioni per potere entrare nella pupilla.

La teoria pitagorica dei raggi visuali riteneva invece che fossero gli occhi ad emettere un *quid*, come dei bastoncini estremamente sottili, per esplorare il mondo reale. Questi raggi sarebbero stati capaci, secondo tale concezione, di riferire l’esito della loro esplorazione agli occhi che li avevano emessi, come un bastone nelle mani di un cieco.

La teoria di Empedocle, poi rielaborata da Platone, sosteneva una combinazione dei flussi emessi dall’occhio all’oggetto e dall’oggetto all’occhio.

Queste teorie furono le più diffuse mentre le idee più complesse, e non sempre chiare per i posteri, di Platone e di Aristotele furono nel tempo tralasciate.

Si ritenne da parte degli studiosi e dei commentatori, e fra questi Teone, che la teoria pitagorica o platonica fosse il modello utilizzato da Euclide e, anche se tale teoria fu considerata nel tempo

da molti studiosi priva di fondamento, essa fu nondimeno usata come mezzo di studio per secoli. Nel XX secolo gli studiosi che si occupano degli aspetti geometrici della visione, come Giuseppe Ovio, commentando Euclide nella versione teonina, si limitano a “prendere le distanze”, “sorridente”, da questa concezione e le enciclopedie scientifiche attribuiscono ancora ad Euclide il concetto di “bastoncini” che escono dagli occhi per esplorare il mondo.⁶

Ai problemi interpretativi esposti si sommano nei secoli gli inevitabili errori involontariamente compiuti dai copisti nel corso delle trascrizioni, ostacolo comune al corretto tramandarsi di qualunque opera nel tempo.

3.3.3 Percorso storico e bibliografico

Si è detto che i trattati della scienza ellenistica sono giunti a noi solo in piccola parte, spesso alterati da redattori di epoca successiva che li hanno adattati alle loro concezioni, ma che il trattato euclideo ha avuto una grande diffusione nell’antichità, anche se la non comprensione del metodo scientifico ad esso sottinteso ha portato molto presto al fraintendimento dei contenuti dell’opera.

Nel II secolo d.C. avviene un primo recupero degli scritti ellenistici per opera di studiosi quali Erone, Tolomeo e Galeno che, nelle loro opere, mostrano la profonda diversità culturale che li separa dai loro predecessori e già l’incomprensione del metodo scientifico.

Tolomeo, che nel II secolo compie un recupero parziale dei trattati di ottica di Archimede, Apollonio e Ipparco, quando scrive un’opera che si occupa sia di ottica geometrica che di catottrica, ha presente anche il trattato di Euclide ed esprime il concetto “euclideo” dei raggi luminosi come emessi dall’occhio stesso e contesta, come si è detto, l’idea dei raggi discreti, sostenendo un’ipotesi di continuità.

6) *Enciclopedia della Scienza e della Tecnica*, Mondadori, Milano, 1970, vol. XII, pag. 662

Nel IV secolo, la revisione di Teone, simile all'originale ma con importanti differenze, conferma che l'opera è ancora studiata e copiata. È la prima trascrizione a noi nota, le cui interpolazioni verranno attribuite ad Euclide sino al XX secolo.

All'inizio dell' XI secolo, quando gli arabi musulmani traducono in arabo i trattati ellenistici sopravvissuti, gli studi di ottica vengono recuperati da Ibn al Haythan (965-1039), meglio noto come Alhazen, vissuto ad Alessandria d'Egitto. Nel suo *Thesaurus opticae* riprende gli argomenti degli studi di ottica di Tolomeo. Rifiuta il concetto di "raggio visuale" attribuito ad Euclide, asserendo che la luce non è emessa dall'occhio ma che la visione avviene per raggi emessi e ricevuti insieme. Il suo studio, stimato nei secoli come un'opera particolarmente innovativa e geniale, attinge, in realtà, dalle recuperate opere scientifiche ellenistiche.

Nel XII secolo un rinnovato interesse per le opere scientifiche greche è evidenziato da diverse traduzioni latine delle opere stesse. È in questo periodo che Bernardo di Chartres esprime il suo rapporto con gli "Antichi" con una frase rimasta celebre: "Noi siamo nani, ma stando sulle spalle dei giganti [che ci hanno preceduto] possiamo vedere più lontano di loro". Nel XII e XIII secolo la Spagna, la Sicilia e l'Italia meridionale sono in rapporto con Costantinopoli: le opere di Euclide, Galeno, Tolomeo ed altri ancora, tradotte in arabo, si diffondono in Italia e dall'Italia in Europa, come pure i manoscritti provenienti dall'Oriente, soprattutto dopo il "sacco di Costantinopoli" del 1204.

Copie del testo greco dell' *Ottica* erano già state introdotte nell'Italia meridionale nel XII secolo, come dimostra il manoscritto della Biblioteca Laurenziana di Firenze che risale al secolo X o XI. Una di queste copie fu fatta oggetto di una traduzione latina, peraltro errata e lacunosa, da parte di un anonimo del XIV secolo, traduzione conservata in una biblioteca di Dresda.

Nuovi studi dell’antica scienza vengono effettuati soprattutto a Parigi e ad Oxford, con Roberto Grossatesta (1168-1253) e Ruggero Bacone (1220-1292) il quale afferma che solo coloro che conoscono il greco, l’arabo e il latino possono acquisire conoscenze essenziali rimaste nascoste fino alla sua epoca.

Nel medioevo risulta che fossero diffusi manoscritti sia dell’opera originale di Euclide che di quella di Teone. L’*Ottica* era stata tradotta in arabo e in latino, ma si era conservata anche in lingua greca. Vitellione, nel 1270, nel suo *Perspectiva*, in cui riprende anche gli studi di Alhazen, è il primo a rifiutare decisamente l’idea che gli occhi emettano raggi visuali.

Si sa di un notevole e redditizio traffico di manoscritti nell’Italia del secolo XIV. Il Rinascimento propriamente detto ebbe la sua fonte proprio nell’arrivo di manoscritti greci provenienti dall’Oriente e vide gli intellettuali del tempo occuparsi dei manoscritti antichi degli scienziati ellenistici anche se non ne comprendevano le teorie. L’inquadramento culturale delle opere era errato, in quanto venivano genericamente attribuite ad una civiltà “classica” greco-romana.

È questa l’epoca in cui ogni ambito dell’umana cultura pare rinascere. Il tentativo, già suggerito da Strabone nella sua *Geografia*, di raggiungere le Indie navigando verso occidente, è ripreso da Colombo con la riscoperta della geografia matematica. Viene riscoperta la misura di Eratostene del meridiano terrestre, l’antica astronomia, le teorie eliocentriche e Copernico stesso, che afferma di scrivere di matematica, dichiara di aver ripreso nei suoi studi le teorie eliocentriche di Aristarco di Samo. Vengono tradotte le opere di pneumatica ed ingegneria militare di Filone di Bisanzio. Le geniali idee di Leonardo nascono a seguito dello studio della scienza e della tecnologia ellenistica, e, in particolare, del suo interesse per le macchine di Erone. Leonardo cita opere di Archimede che lui ha letto ma che non sono giunte fino a noi, progetta opere idrauliche, disegna macchine irrealizzabili per la tecnologia del suo tempo, disseziona

cadaveri e mette in pratica gli studi di anatomia. Cesalpino, Vesalio e Falloppio, che studiano anatomia, medicina e botanica, citano e utilizzano i trattati di Erofilo.

Alla fine del 1500 Galileo, il quale dichiara che i suoi modelli sono Euclide, Archimede e Apollonio, tiene corsi di matematica sugli *Elementi* di Euclide e, dopo aver scritto diversi commenti ai trattati di Archimede, costruisce nuove teorie scientifiche e recupera l'antico metodo scientifico ellenistico applicando il metodo ipotetico deduttivo allo studio dei fenomeni naturali. Galileo usa la matematica e gli esperimenti, in un tempo in cui la fisica e la matematica non sono ancora distinte; sicuramente studia e conosce l' *Ottica* di Euclide, che proprio in quegli anni viene stampata, per la prima volta in volgare, a Firenze.

Durante il Rinascimento, comunque, l'opera dello Stichiote viene stampata e studiata nell'edizione di Teone, mentre dell'originale si sono perse le tracce. Un manoscritto archetipo, portato dall'Oriente a Vienna nel XVI secolo da Auger Busbec, al ritorno dalla sua ambasciata a Costantinopoli, viene ignorato.

La prima edizione a stampa, del 1505, avviene a Venezia ad opera di Bartolomeo Zamberto che traduce in latino la revisione di Teone insieme ad altre opere minori con il titolo *Euclidis Megarensis mathematici clarissimi elementorum geometricorum his adiecta sunt Phaenomena, Catoptrica et Optica ecc, a Bartolomaeo Zamberto Veneto latinitate donata*. L'opera ebbe fortuna e contò almeno 7 edizioni. L'edizione di Zamberto presenta alcuni difetti a causa dello stato del testo che egli afferma di avere tradotto da “vetutissimis et tineis ac carie contritis graecis codicibus”.⁷

Una seconda versione in latino è rimasta, secondo Ver Eecke, fra le opere inedite di Francesco Maurolico.

7) Ver Eecke P., *Euclide. L'Optique e la Catoptrique*, Desclée de Brouwer, Parigi e Bruges, 1938, pag. XXXVII, n.2

Tutte le pubblicazioni a stampa dal 1505 sino al 1882 sono basate sulla revisione di Teone.

Celebre fu anche la traduzione in latino di Giovanni Pena edita a Parigi nel 1557 che fu molto diffusa e conobbe diverse edizioni fino al 1604. Ad essa fa riferimento anche la pubblicazione di Giuseppe Ovio del 1918. Il titolo dell’opera è *EYKΛEIAON OITTIKA KAI KATOITPIXA. Euclidis optica et catoptrica nunquam antehac graece aedit. Eadem latine reddita per Ioannem Penam, Parisiis 1557, apud Andream Wahelum.*

Ver Eecke commenta la traduzione, a suo parere infedele ed un po’ troppo libera, di Giovanni Pena, rilevando che quest’ultimo ammette di aver apportato al testo numerose correzioni sulla base di congetture e di aver colmato le lacune presenti nei manoscritti. Secondo Ver Eecke, Pena introduce poi alcune dimostrazioni, anche se riconosciute erranee.

In latino furono pure scritte le traduzioni di Dasipodio del 1570 e del 1571, stampate a Monaco e a Strasburgo col titolo *Euclidis omnes omnium librorum propositiones graece et latinae editae per M. Conradum Dasypodium. Argentinae 1571.*

In epoca rinascimentale gli studiosi riconoscono all’opera il merito di aver fondato l’ottica geometrica ma essa viene considerata erronea in merito alla concezione dei raggi visuali. Leonardo da Vinci (1452-1519) costruisce la camera oscura, mettendo in evidenza la sua analogia con l’occhio, e nei suoi *Pensieri sull’universo* confuta la revisione di Teone.

L’ottica fu comunque una delle prime teorie scientifiche di cui si tentò il recupero, anche per le sue molteplici applicazioni nelle arti visive, in particolare la pittura.

Nel 1573 a Firenze, Ignazio Danti traduce infatti per la prima volta in volgare il trattato, pubblicandola con il titolo *La prospettiva di Euclide, tradotta dal M. Egnatio Danti, cosmografo del Gr. Duca di Toscana. In Fiorenza, nella Stamperia dé Giunti.* Questa traduzione si

basa a sua volta sulla traduzione latina del Pena, di cui riproduce interpolazioni ed errori. Una riedizione avvenne nel 1623.

Un'altra traduzione in volgare avviene per opera di Pedro Onderiz che, nel 1585, traduce in spagnolo la versione latina del Pena.

Nel XVII e XVIII secolo le pubblicazioni riguardano a volte solo parti dell'opera o commenti ad essa e sono effettuate da parte di Francois Aguilon nel 1613, Pierre Hérigone nel 1634, Freart de Chantelou nel 1663 e da parte di Schneider nel 1801. Nonostante ciò che viene affermato nei titoli, le opere stampate sono pubblicazioni della revisione teonina.

Nel 1703, ad Oxford, David Gregory pubblica le opere complete di Euclide sotto il titolo *EYKAEIΔION TA ΣΩΖΟΜΕΝΑ. Euclidis quae supersunt omnia ex recensione Davidis Gregory M. D. Astronomiae Professoris Savilianus et. R. S. S. Oxoniae*. Anche questa edizione contiene solo, in greco ed in latino, la revisione di Teone e la Catottrica.

In quest'epoca la formazione culturale di Keplero (1571-1630) e di Newton (1643-1727) prevede ancora lo studio dei trattati della scienza ellenistica ma tale cultura è unita a concezioni e filosofie assai lontane dalla scienza del III secolo a.C. Con Newton nasce la moderna fisica, distinta dall'antica matematica, e tra le opere di fisica viene inclusa l' *Ottica*. È questa l'epoca in cui la parola "ipotesi" diviene un'affermazione in discussione di cui occorre accertare se è vera o falsa e in cui il "fenomeno" non è più ciò che avviene nell'interazione soggetto-oggetto ma un fatto oggettivo da descriversi prescindendo dal metodo con cui viene osservato.

L'inserimento, avvenuto in questo periodo storico, dell' *Ottica* di Euclide fra le opere di fisica, facilita il perpetuarsi dell'errata interpretazione teonina degli enti della teoria euclidea, ritenuti realtà fisiche concrete e non enti matematici astratti, e da luogo ad un minore interesse per quest'opera che si ritiene contenga errori concettuali.

Sino a quest’epoca l’ammirazione per le opere antiche ed il loro recupero non sono ancora venuti meno, sono ancora considerate essenziali per la cultura di qualunque studioso.

La scienza moderna raggiunge in quest’epoca un’espansione e potenza superiori a quelle ellenistiche, primariamente grazie all’introduzione ed alla diffusione della stampa la quale permise l’allargamento della cultura ad una più ampia base sociale e, in particolare, portò al diffondersi dell’uso delle tavole dei logaritmi, nel 1614, e del calcolo numerico e dunque al superamento del metodo geometrico che caratterizzava la matematica ellenistica.

Nel XVIII secolo, si spegne l’interesse per la cultura classica in generale e quindi anche per l’*Ottica*. In questo secolo, il “secolo dei lumi”, il rifiuto dell’antica cultura, della tradizione, della eredità della storia e l’esaltazione della ragione umana danno luogo ad una rimozione del passato, ad un minore od inesistente interesse per le opere antiche, e fa sì che invenzioni e scoperte del passato vengano attribuite a studiosi più vicini nel tempo. È questo il tempo in cui viene abbandonato il latino come lingua scientifica, si separano gli studi umanistici da quelli scientifici e diviene sempre più difficile il recupero della lingua e dei contenuti degli antichi trattati.

Fra il XIX ed il XX secolo, un rinnovato interesse per la scienza antica, grazie al contributo di studi di filologia classica, di storia della scienza e di epistemologia, porta ad un recupero più pieno e consapevole del contenuto delle opere della civiltà ellenistica. È questo il periodo in cui gli studiosi divengono consci della possibilità di usare teorie e modelli diversi da quelli proposti dagli antichi scienziati per spiegare gli stessi fenomeni. Weierstrass e Dedekind, ad esempio, recuperando la teoria delle proporzioni di Euclide, faranno dell’analisi matematica una vera teoria scientifica.

I. L. Heiberg, filologo danese, per la prima volta nei tempi moderni, scopre a Vienna il codice, portato da Costantinopoli quattro secoli prima, che, dopo un’accurata ricerca filologica, risulta

contenere la versione originale dell’*Ottica*. La pubblica per la prima volta nel 1882 con il titolo *Litterar-geschichtliche Studien uber Euklid von I. L. Heiberg. Leipzig, 1882*. Successivamente nel 1895 il testo greco dell’*Ottica* fu stampato, riveduto e corretto rispetto all’edizione precedente, in una *Opera Omnia* che Heiberg pubblica insieme a H. Menge con una traduzione latina a fronte. In questo testo si trova sia l’opera di Euclide che la revisione di Teone: *Euclidis Opera Omnia ediderunt I. L. Heiberg et H. Menge, vol. VII: Euclidis Optica, Opticorum Recensio Theonis, Catoptrica cum Scholiis Antiquis, edidit I. L. Heiberg, Lipsiae in aedibus Teubneri, 1895*. Tale testo tiene conto, oltre che del manoscritto archetipo di Vienna, anche di copie dell’opera trovate presso la Bodleian Library di Oxford, la Biblioteca Vaticana, quella di San Marco a Venezia, la Biblioteca Ambrosiana di Milano e quella del British Museum.

La redazione del 1895 nasce dal consenso dei codici presi a base della costituzione del testo. La traduzione latina, che è posta a fronte del testo greco, segue la traduzione latina medievale del trattato che, in base agli errori, L. Russo giudicherà basata su un codice greco affine ai codici superstiti.⁸

Si è detto che Giuseppe Ovio, avendo interesse a pubblicare nella collana dei manuali della Hoepli un’opera di scienza della visione per insegnare l’ottica, pubblica la sua traduzione in italiano nel 1918: *G. Ovio, L’Ottica di Euclide, Ulrico Hoepli editore – libraio della Real Casa, Milano 1918*. Senatore del Regno, stimato studioso di ottica fisiologica, professore di oftalmoiatria e clinica oculistica, interessato a insegnare l’ottica, non compiendo uno studio filologico e storico delle diverse edizioni, sceglie di pubblicare il testo nella versione di Teone, utilizzando principalmente le traduzioni di Pena e di Heiberg e consultando quelle di Zamberto e di Gregory, quella italiana di Danti e quella francese di Freart. Egli condivide la stima

8) Medaglia S. M., Russo L., *Sulla prima “definizione” dell’Ottica di Euclide*, in “Bollettino dei Classici”, Accademia dei Lincei, 16 (1995), pp. 41-54., pag.42

degli altri studiosi per quest’opera ma ne confuta i presunti errori. Il suo commento introduttivo all’opera di Euclide sarà trattato nel prossimo paragrafo.

La prima pubblicazione in francese è curata da Paul Ver Eecke nel 1938, a Parigi e a Bruges: *Euclide. L’Optique et la Catoptrique. Ouvres traduites pour la première fois du grec au français avec une introduction et des notes par Paul ver Eecke, Fondation Universitaire de Belgique, 1938*. Egli traduce sia l’opera originale di Euclide che la revisione teonina e la catottrica pseudo-euclidea, desumendoli dal volume VII dell’*Euclidis Opera Omnia* di Heiberg e Menge, edizione da lui definita “excellente et définitive”. Per primo Paul Ver Eecke compie in merito uno studio bibliografico approfondito. Egli, come altri autori moderni, ritiene false le affermazioni di Euclide sui raggi visuali, in quanto non coincidono con le affermazioni sui raggi di luce dell’ottica moderna e tale fraintendimento si estende anche ad altri concetti del modello euclideo.

La medesima opinione viene espressa nei suoi studi da Federigo Enriques, grande matematico e storico della scienza, e da V. Ronchi nella sua *Storia della luce* (1939). In quest’opera Ronchi ancora non distingue fra la cultura della Grecia classica e quella del periodo ellenistico. Euclide per lui è allievo di Platone e il concetto dei raggi visuali è errato. Ma, senza giustificare il passaggio concettuale, afferma non solo che il modello geometrico della luce creato da Euclide è ancor oggi “l’anima dell’ottica geometrica” ma che “il raggio luminoso rettilineo e privo di struttura fisica” è da intendersi come “astrazione matematica. [...] Questo modello, questa creazione, superata, ma viva, dopo millenni, è il vero contenuto di valore dell’opera di Euclide”.⁹ L’intuizione personale dello studioso supera lo scoglio dell’ “errore” di Euclide ma non è ancora supportata dalle necessarie conoscenze di storia della scienza.

9) Ronchi V., *Storia della luce*, Ed. Zanichelli, Bologna, 1952, pag. 20-21

Una traduzione inglese del trattato viene effettuata ad opera di H. E. Burton nel 1945.

Nel 1948 A. Lejeune, scrivendo uno studio comparativo fra l’*Ottica* di Euclide e quella di Tolomeo, non comprende ancora il metodo e le finalità del trattato e afferma che l’opera di Tolomeo è superiore allo studio dello Stichiote, colpevole di concepire l’ottica “come una branca della geometria applicata”.

Nel 1963 l’*Enciclopedia della Scienza e della Tecnica*, parlando della teoria dei raggi visuali, “specie di bastoncini estremamente sottili emessi dagli occhi per esplorare il mondo reale, capaci di riferire l’esito della loro esplorazione agli occhi che li avevano emessi come un bastone nelle mani di un cieco”, la cita come modello utilizzato da Euclide e da Tolomeo, definendola utile per gli studi della prospettiva ma “inconsistente” anche se “ha continuato ad essere usata come mezzo di studio fino al XVII secolo”.¹⁰

Nel 1995 S. Medaglia e L. Russo pubblicano uno studio filologico: *Sulla prima “definizione” dell’Ottica di Euclide* nel Bollettino dei Classici dell’Accademia dei Lincei. Il contenuto del saggio verrà preso in esame nel paragrafo che si occupa delle “premesse”. In questo saggio e nel libro pubblicato da L. Russo l’anno seguente, *La rivoluzione dimenticata*, nel quale l’autore compie un’opera di recupero e di studio di tutta l’eredità scientifica ellenistica, anche l’*Ottica*, fra le altre opere degli scienziati ellenistici, viene rivalutata e per la prima volta viene considerato il contributo degli studi di Erofilo per la costruzione del modello euclideo del fenomeno visivo, anche grazie allo studio già citato effettuato da H. Von Staden.

Nel 1996, F. Incardona pubblica una traduzione in italiano dell’*Ottica* di Euclide dal testo greco originale come pubblicato da Heiberg e compie osservazioni di natura filologica.

10) *Enciclopedia della Scienza e della Tecnica*, Mondadori, Milano, 1970, vol. XII, pag. 662

3.3.4 Un approfondimento: il commento di Ovio alla prefazione di Teone ed il giudizio di Ver Eecke

Il trattato di Ovio, che traduce e pubblica *Ottica* e *Catottrica* per fini didattici e divulgativi, avendo come obiettivo quello di produrre “un libro utile di nozioni ottiche elementari”, è ancor oggi un testo di riferimento stimato e valido per lo studio dell’ottica geometrica e fisiologica anche se l’autore non parte dalla conoscenza del periodo storico e della situazione culturale, filosofica e scientifica in cui l’opera è stata scritta.

Si è detto che il problema della corretta interpretazione del pensiero di Euclide, della ricostruzione scientifica e filologica del testo, presente sin dai primi secoli dopo la scomparsa della cultura e della scienza ellenistica, non è ancora stato affrontato nel 1918 quando Ovio traduce e commenta il testo della revisione teonina basandosi principalmente sulla vecchia traduzione di Pena e su quelle moderne di Heiberg, di Zamberto, di Gregory e quelle di Danti, italiana, e di Freart, francese.

Dopo la divisione della scienza esatta fra matematica e fisica, l’*Ottica*, per il significato moderno del suo titolo, è inserita fra le opere di fisica ed Ovio pertanto afferma: “Il grande onore in cui ancor oggi sono tenute le opere matematiche di Euclide mi invogliò a conoscere i due libri di ottica che vengono attribuiti a questo autore” anche se “mentre le [scienze] matematiche erano nel IV secolo a.C. salite a sublimi altezze le scienze fisiche erano ancora bambine”.

Continua dicendo che *Ottica* e *Catottrica* “non avrebbero potuto reggere al paragone di quelle [opere matematiche] [...] Trovai [in esse] ottime osservazioni e ottime dimostrazioni, cosicché mi sembrò pienamente giustificato l’averne gli antichi, con fondamento o no, attribuito al sommo matematico [...] queste due opere”. Interrogandosi circa la paternità dei due scritti, Ovio si limita a sottolineare come i maggiori errori che trova nella *Catottrica* egli ritiene siano dovuti al fatto che vi sono contenute osservazioni

pratiche e non teoriche mentre nell’*Ottica* trova meno errori perché “parecchi principi [...] sono puramente teorici.”. Tale fatto è però giudicato un difetto.

Ovio avverte che occorre apportare delle correzioni nella lettura del testo perché l’ “errore di Euclide”, che appare nella prefazione e che inficia tutto il testo, secondo il quale “i raggi visivi partirebbero dagli occhi e andrebbero agli oggetti [...] non è più sostenibile [...] ammettendosi invece il cammino inverso dei raggi, cioè dagli oggetti all’occhio”.¹¹

La validità di quanto asserito nel testo, precisa Ovio, non viene meno perché basta operare una sostituzione: dove è detto “raggi diretti all’oggetto” occorre intendere “raggi provenienti dall’oggetto” o “raggi diretti all’occhio” e così via.

Ovio traduce la prefazione di Teone, nella quale questi afferma di trasmettere dei chiarimenti di Euclide stesso, ritenuti necessari per introdurre i teoremi. In essa Teone spiega che la propagazione della luce avviene in linea retta, come dimostra la formazione delle ombre e delle immagini che vengono prodotte attraverso piccole aperture; chiarisce che i raggi visuali sono tra di loro ad una certa distanza e possono quindi anche non vedere ciò che pur è davanti agli occhi, come è dimostrato dall’esperienza della ricerca a terra di un ago o dalla lettura di un testo; spiega come i raggi visuali non provengano dagli oggetti ma partano dagli occhi i quali, non essendo cavi, non sono atti a ricevere bensì ad emanare.¹²

Ovio commenta la prefazione: dopo aver spiegato il concetto della propagazione rettilinea della luce, che egli condivide, per quanto

11) Ovio G., op. cit., pag. XXI

12) Ovio G., op. cit., pag. 7: “La natura ha fatto gli apparecchi coi quali si sente, alcuni atti a ricevere, altri non atti. [...] gli apparecchi dell’udito, del gusto, dell’odorato, furon fatti incavati onde possan ad essi arrivare corpuscoli esterni per muoverne la sensibilità [...] parimenti l’occhio se i corpi che lo eccitano dovessero provenire dall’esterno e niente da esso venisse emesso sarebbe stato necessario farlo incavato e atto a ricevere i corpi che gli arrivano. Ma vedesi che così non è, e che piuttosto l’occhio è simile a una sfera” e ciò è sufficiente “per confermare che i raggi devono partire dall’occhio per determinare la visione”

concerne la distanza dei raggi visivi fra loro afferma: “Questa opinione oggi fa sorridere, ma, a ben riflettere, apparisce logica riportandoci ai suoi tempi nei quali ritenevasi i raggi visivi quasi come entità materiali abbraccianti gli oggetti fissati e formanti come un cono con vertice nell’occhio”.¹³ Il concetto della distribuzione discreta e non uniforme dei raggi visivi, con densità massima al centro del cono ed intervalli angolari diversi nelle diverse regioni del cono visivo, è incompresa nella revisione di Teone e nell’opera di Ovio, nonostante l’esempio della ricerca di un ago sul pavimento, illustrata nella prefazione, mantenga traccia del concetto stesso. Giustamente Ovio collega l’esempio con l’azione della retina ma egli ignora che tale struttura fosse già nota ad Euclide.¹⁴

Non conoscendo la rivoluzione scientifica del III secolo a.C., accomunando genericamente ogni filosofo, scienziato e letterato dell’epoca greco-romana nell’indeterminata categoria degli “Antichi”, è logico e conseguente che Ovio ritenga, come altri prima di lui, Euclide un seguace della teoria secondo la quale i raggi visivi sono entità fisiche che partirebbero dagli occhi e andrebbero agli oggetti. Ovio ritiene che tale teoria sia stata sostenuta da Epicuro prima e più tardi da Galeno.

Si sofferma su tale concetto euclideo cercando concezioni analoghe in altre epoche storiche. Afferma: “di questa teoria sostenuta da Euclide si può ancora trovare traccia nelle superstizioni dei fluidi emanati dall’occhio, del mal’occhio ecc., più o meno abbellite nel linguaggio poetico col fuoco, coi lampi, coi dardi, cogli spiritelli uscenti dall’occhio a ferire occhi, mente, cuore di chi li riceve, su che fu maestro fra noi specialmente il Cavalcanti”.¹⁵ Trova una relazione

13) Ovio G., op. cit., pag. 15

14) Ovio G., op. cit., pag. 16: “Oggi si sa che tale difficoltà [la ricerca di un ago caduto per terra] proviene da che solo una minima porzione di retina, il così detto *centro oxiopico* situato sulla *fovea centrale*, è dotata della sensibilità sufficiente perché si possano percepire i minimi oggetti”.

15) Ovio G., op. cit., pag. 17

di somiglianza fra i presunti concetti di Euclide, il Geometra, e le espressioni poetiche, le metafore ed i simbolismi del Dolce Stil Novo. Il principale fra i fondatori del metodo scientifico dimostrativo è ritenuto esporre dunque nella sua *Ottica* idee paragonabili alle idee magiche e superstiziose proprie di una parte della nostra cultura di epoca medievale. Ovio cerca altre spiegazioni per la presunta teoria euclidea e afferma: “Forse teoria e strascichi ricevettero impulso da quei fenomeni [...] quale l’aspetto fiammeggiante che presenta qualche volta la pupilla, specialmente quella dei felini, per cui il fenomeno fu chiamato anche *gatteggiamento* [...]”.¹⁶

Ovio, pur riconoscendo al testo un valore tale da effettuare di esso un laborioso lavoro di recupero, traduzione e ampio commento, non può non soffermarsi a contestare il principio dei raggi uscenti dall’occhio. Dopo aver sottolineato che Euclide, ad avvalorare tale ipotesi, mette in campo la speciale forma dell’occhio, “Gli altri organi dei sensi sono cavi e sono quindi atti a ricevere; l’occhio è convesso quindi non è atto a ricevere”, conclude: “Anche quest’idea oggi fa sorridere perché si sa [...] che sebbene la sua forma sia convessa, è nella sua parte interna concava che la luce penetrando determina le impressioni specifiche”.¹⁷

Lo stretto nesso tra la forma e la funzione era un’idea dominante nell’antichità, sostenuta da Galeno “secondo il quale ciascun organo, data precisamente la sua conformazione, sarebbe atto a ricevere solo le impressioni più affini a tale conformazione”, ma Euclide appartiene al III secolo a.C., Galeno è del II secolo d.C. ed il pensiero scientifico ha già subito radicali mutamenti. Contemporaneo di Euclide non è Galeno ma Erofilo, il quale peraltro era già stato riscoperto dagli studiosi rinascimentali che lo stimavano per i suoi studi nel campo dell’anatomia.

16) Ovio G., op. cit., pag. 17

17) Ovio G., op. cit., pag. 18

Circa la “ricaduta” prodottasi nei secoli di questa erronea concezione, da parte di uno scienziato tanto stimato come Euclide, è emblematico ciò che ancora scrive Ovio: “Queste idee oggi evidentemente non possono più sostenersi, tuttavia non hanno per se stesse niente di ridicolo, come invece si trova in argomenti tirati in campo più tardi per sostenere ancora questa teoria della emanazione luminosa partente dall’occhio.”¹⁸ Esemplifica: nel XVI secolo Danti, nella sua traduzione dell’opera di Euclide, sembra indeciso “se sostenere o no la teoria abbracciata da Euclide” circa i raggi visuali. Quando Danti commenta la prospettiva del Vignola si dimostra però apertamente contrario a tale teoria e confuta gli argomenti del Vignola che vorrebbero sostenerla perché sono argomenti “irragionevoli e assurdi”. Si riportano, quale esempio storico, alcuni degli argomenti adottati dal Vignola a sostegno dei presunti concetti espressi da Euclide, la cui autorità, in quanto autore degli *Elementi*, è da lui considerata evidentemente incontestabile: “1. Quando si vuol veder di lontano qualcosa piccola si comprime l’occhio, quasi che si faccia forza di mandare fuori i raggi più direttamente. 2. L’occhio nel guardare assai si stanca, e pare che ciò proceda dalla quantità di raggi che escono da esso. 3. La donna che patisce il mestruo, guardando nello specchio lo macchia: e da questo si argomenta che per vedere esca dall’occhio suo qualche cosa. 4. Il basilisco con lo sguardo avvelena l’uomo e ciò non succederebbe se nel vedere non mandasse fuori i raggi visuali. Etc. ...”¹⁹

D’altra parte, conclude Ovio, le obiezioni che lo stesso Danti muove poi alle assurde argomentazioni del Vignola hanno “analogo e quindi meschinissimo valore”.

La traduzione ed il commento ai teoremi operati da Ovio sono un valido lavoro che dimostra come, a distanza di due millenni,

18) Ovio G., op. cit., pag. 19

19) Ovio G., op. cit., pag. 19

l'opera di Euclide sia ancora un testo prezioso per lo studio dell'ottica geometrica; la sua prefazione e l'interpretazione non sempre completamente corretta dei teoremi ribadisce la necessità di un recupero dell' *Ottica* da un punto di vista storico e scientifico.

Ha un interesse storico anche prendere in esame le osservazioni di Paul Ver Eecke che accompagnano la sua traduzione in francese, del 1938, perché confermano l'attenzione degli studiosi per il trattato ed i problemi posti dall'interpretazione del medesimo. Il suo studio ha un particolare valore poiché compie una ricostruzione bibliografica.

Essendo l' *Ottica* senza prologo e poiché Euclide non indica a priori a quale concezione, pitagorica, atomistica o platonica, egli si rapporti in quanto più favorevole per le speculazioni geometriche, Ver Eecke, valutate le dimostrazioni geometriche ed i postulati che fissano la natura dei teoremi, giudica che Euclide si rifaccia alla concezione platonica della luce, la quale ammette l'incontro delle correnti visive che escono dagli occhi e dagli oggetti, e giudica errati i concetti, espressi dallo scienziato alessandrino, relativi ai raggi visuali che escono dagli occhi ed alla formazione del cono visuale.

Egli afferma giustamente che il contenuto dell' *Ottica* è in parte estraneo alla fisica così come è definita nel XX secolo e che la materia non corrisponde nella sua totalità alla scienza moderna classificata sotto il nome di "ottica". Rileva che, esclusi i teoremi relativi alla misurazione delle distanze, da lui giudicati nella maggior parte erronei, e quelli relativi al moto, il testo cade piuttosto sotto il dominio della prospettiva, nome sotto il quale era stato presentato il trattato dai primi traduttori. Dei cinquantotto teoremi, venti li giudica appartenenti all'ottica ed il resto alla prospettiva. I teoremi del trattato hanno per lui ineguale valore: alcuni sono falsi, alcuni enunciano cose evidenti, altri sono veri e dimostrati con rigore geometrico. Gli errori dei teoremi sono attribuiti alle false ipotesi della fisica "des Anciens" che aveva carattere speculativo più che sperimentale. Il testo, afferma, ha

poi trascuratezze da attribuirsi non ad Euclide, il quale dimostra negli *Elementi* il suo rigore logico, bensì ad alterazioni apportate da copisti poco scrupolosi; egli ha infatti trovato nel testo tracce di rimaneggiamenti da parte di commentatori “temerari” ed interpolatori poco abili.

Ver Eecke fa un esempio ed afferma che quando Teone, nel teorema LVII, trova gravi alterazioni, che lo rendono di difficile interpretazione, lo rimpiazza con un altro; afferma inoltre che il medesimo Teone ignora i teoremi che ritiene già impliciti in altre dimostrazioni e ne conserva alcuni che erano già stati interpolati da commentatori precedenti. Dopo uno studio comparativo conclude di aver ricevuto l’impressione che la revisione teonina interpreti il testo di Euclide in modo più conciso ma molto meno rigoroso dell’originale ed esprime l’opinione che sia stata scritta da un discepolo di Teone dopo l’insegnamento verbale e che, dallo stesso Teone, sia stata usata come manuale di riferimento ad uso degli uditori.

L’*Ottica* è, secondo Ver Eecke, “toute theorique”, estranea alle leggi, ancora sconosciute, della nostra funzione visuale, per nulla fisiologica, e soggiacente alle sole speculazioni geometriche.

3.3.5 Le “premesse” o “definizioni”: ciò che va stabilito prima del trattato

Euclide nell’*Ottica* parte indicando le regole normative alla base del trattato e gli oggetti del modello teorico che egli costruisce per indagare il processo visivo. Parte dunque dagli *opoi*.

Il termine, spiega Ovio, non è tradotto dal Pena, è tradotto dal Danti come “supposizioni”, da Freart come “assiomi”, da Gregory come “posizioni”.

Gli *opoi*, considerati in epoca moderna entità intermedie fra definizioni e postulati, Ovio li indica come “premesse”, attenendosi al concetto espresso con il termine “supposizioni”, in quanto il termine “supposizione” vale come “posto sopra” e ciò equivale, quando scritto

in un libro, a “posto prima”: in sostanza, si può dire che sono “ciò che va stabilito prima del trattato”.

Il testo latino pubblicato da Heiberg traduce il greco del testo teonino con il latino “definitiones”.

Si riportano di seguito i testi in latino delle premesse come pubblicati da Heiberg, e i testi tradotti in italiano da Ovio e da Incardona. In allegato i testi in lingua greca della revisione teonina e del codice originale come pubblicati da Heiberg e le relative traduzioni in francese a cura di P. Ver Eecke.

Heiberg I. L., *Euclidis Optica*

Ponatur, ab oculo rectas ductas lineas ferri spatio magnitudinum immensarum; et sub uisibus contentam figuram conum esse uerticem quidem in oculo habentem, basim uero ad terminos conspensorum; et ea quidem uideri ad quae uisus inciderit, non autem uideri, ad quae non inciderit uisus; et sub maiori quidem angulo uisa maiora apparere, sub uero minori minora, aequalia autem sub aequalibus angulis uisa; et sub eleuatoribus radiis uisa eleuatora apparere, sub humilioribus uero humiliora; et similiter sub dexterioribus quidem radiis uisa dexteriora apparere, sub sinistrioribus uero sinistriora; sub pluribus autem uisa angulis perspicacius uideri [omnes uisus aequae-ueloces. Non sub quocunque angulo rem uideri.]

Heiberg I. L., *Opticorum Recensio Theonis*

Definitiones.

- 1. Supponamus, radios ex oculo secundum rectas lineas ferri inter se distantes.*
- 2. et figuram radiis comprehensam conum esse, qui uerticem ad oculum, basim autem ad terminos visorum habeat.*
- 3. et ea cerni, ad quae radii adcidant, non cerni autem, ad quae radii non adcidant.*

4. *et ea quae a maiore angulo cernantur, maiora adparere, minora autem, quae a minore, aequalia autem, quae ab aequalibus angulis cernantur.*
5. *et ea, quae sublimioribus radiis cernantur, sublimiora adparere, quae autem a demissioribus, demissiora.*
6. *et similiter ea quae a dexterioribus radiis cernantur, dexteriora adparere, quae autem a sinistroribus sinistrora.*
7. *ea autem, quae a pluribus angulis cernantur, clarius adparere.*

Ovio G., L’*Ottica* di Euclide

Premesse.

1. i raggi emessi dall’occhio procedono per via dritta
2. la figura compresa dai raggi visivi è un cono che ha il vertice all’occhio e la base al margine dell’oggetto
3. si vedono quelli oggetti cui arrivano i raggi visivi
4. non si vedono quelli oggetti ai quali i raggi visivi non arrivano
5. gli oggetti che si vedono sotto angoli maggiori, si giudicano maggiori
6. gli oggetti che si vedono sotto angoli minori si giudicano minori
7. gli oggetti che si vedono sotto angoli eguali si giudicano eguali
8. gli oggetti che si vedono con raggi più alti si giudicano più alti
9. gli oggetti che si vedono con raggi più bassi si giudicano più bassi
10. gli oggetti che si vedono con raggi diretti a destra si giudicano a destra
11. gli oggetti che si vedono con raggi diretti a sinistra si giudicano a sinistra
12. gli oggetti che si vedono con più angoli si distinguono più chiaramente
13. tutti i raggi hanno la stessa velocità
14. non si possono vedere gli oggetti sotto qualunque angolo

Incardona, *Ottica - Immagini di una teoria della visione*

Premesse

1. Sia posto che : i segmenti rettilinei tracciati a partire dall'occhio si portino ad una distanza tra loro di dimensioni sempre maggiori.
2. E che: la figura formata dai raggi visuali sia un cono avente il vertice nell'occhio e la base sui contorni delle cose viste
3. E che siano viste quelle cose sulle quali incidono i raggi visuali, mentre non siano viste quelle sulle quali i raggi visuali non incidono
4. E che le cose viste sotto angoli più grandi appaiano più grandi, quelle [viste] sotto [angoli] più piccoli più piccole, e uguali quelle viste sotto angoli uguali
5. E che le cose viste sotto raggi più alti appaiano più in alto, quelle [viste] sotto [raggi] più bassi più in basso
6. E allo stesso modo che le cose viste sotto raggi più a destra appaiano più a destra, quelle [viste] sotto [raggi] più a sinistra appaiano più a sinistra
7. E che le cose viste sotto un maggior numero di angoli appaiano con migliore risoluzione

Tranne che per la prima definizione ed una divergenza di poco conto nella seconda, il testo delle sette definizioni che introducono l' *Ottica* di Euclide è perfettamente identico, nel codice originale greco pubblicato da Heiberg, al testo delle sette definizioni che precedono la revisione di Teone come riportata dallo stesso.

Si è già presa in considerazione la questione dei segmenti rettilinei (linee diritte) della prima premessa che divengono raggi visivi nella stessa premessa della revisione teonina.

Ovio traduce la prima definizione teonina solo parzialmente. Questo è indice della difficoltà ad interpretare la parte finale di questa premessa, che Ovio commenta senza fornire alcuna spiegazione della traduzione incompleta effettuata. Nel paragrafo precedente si è visto il suo commento al concetto dei raggi che escono dagli occhi.

In merito alla prima premessa Ver Eecke non rileva alcuna differenza fra i “segmenti rettilinei” del testo dell’*Ottica* ed i “raggi visuali” della revisione teonina e li fa subito coincidere, anche perché li identifica, come si è detto, con una realtà materiale. Trovandola poco chiara, egli la traduce: “Supposons que les lignes droites qui émanent de l’oeil se propagent à divergence des grandes grandeurs”; ritenendo non possa riferirsi all’esistenza di “intervalli di grandezza indefinita fra i raggi”, in quanto tale concetto non ha applicazioni in alcuno dei teoremi del trattato, richiama la revisione che gli sembra meno indefinita in quanto parla di raggi che hanno una qualche divergenza fra loro: “Supposons que les rayons visuels émanés de l’oeil se propagent suivant des lignes droites faisant quelque divergence entre elles.” L’esistenza di intervalli fra i raggi, conclude Ver Eecke, non è ammissibile e cita Tolomeo che già sosteneva la necessità che i raggi siano continui e non separati.

Nello studio del 1995 *Sulla prima definizione dell’Ottica di Euclide* Silvio Medaglia e Lucio Russo, dopo aver messo in evidenza l’aporia del testo originale greco, ipotizzano che si tratti di una corruzione del trattato euclideo. Il testo greco corrotto, che viene tradotto in latino in epoca medievale con “magnitudinum immensarum”, che sembra sottintendere lo svolgimento rettilineo all’infinito delle linee diritte aventi vertice nell’occhio, appare in contraddizione con il concetto espresso dalla terza definizione e dalla dimostrazione del terzo teorema, cioè con il concetto che la visione di un oggetto possa avvenire fino ad una certa distanza, oltrepassata la quale l’oggetto non è più visibile.

Sospettata la manomissione di una parola o di una serie di lettere, Medaglia e Russo, dopo un’attenta analisi filologica, considerati i concetti espressi dalle premesse quarta e settima, propongono un’integrazione del testo con lettere omesse, la quale conduce alla seguente traduzione: “con una divergenza (angolare) di ampiezze molto diversa”.

Questa traduzione è sostenuta da un esame più ampio del pensiero euclideo compiuto da Russo sulla base del fatto che “Euclide assume [...] sin dall’inizio della sua opera che i *raggi visuali* uscenti dall’occhio formino un insieme discreto con una distanza angolare reciproca finita”.²⁰ L’ipotesi che Euclide avesse fatto riferimento ad una distanza “angolare” (διαστημα μεγεθων μεγαλλοιων), anziché lineare (διαστημα μεγεθων μεγαλων), non era stata considerata dagli studiosi venuti dopo di lui, i quali criticarono l’impostazione euclidea e lavorarono per lo più a partire da modelli che prevedevano una distribuzione continua, e non discreta, dei raggi visuali.

La prima premessa dell’*Ottica*, così ricostruita, congiunta alla settima, la quale afferma che gli oggetti sono visti in modo tanto più accurato quanti più sono i raggi che li colpiscono, spiega la limitatezza del potere risolutivo dell’occhio umano, perché un oggetto che venga allontanato appare non solo più piccolo ma anche con meno particolari. Si è detto che l’idea della struttura discreta dei raggi visuali era sorta in Euclide per gli scambi scientifici con Erofilo; ad essa corrisponde, infatti, la natura discreta degli elementi della retina. Si è detto che quest’idea è incompresa nelle epoche successive perché l’ipotesi di un modello matematico teorico di un processo fisiologico non è più contemplata. Sono state perse sia le scoperte anatomiche fisiologiche di Erofilo che le concezioni scientifiche e filosofiche proprie del pensiero euclideo.

Euclide introduce, con la prima premessa, il concetto di difformità di visione di un oggetto a seconda che sia osservato al centro del campo visivo o sia visto in una regione laterale, supponendo diversi gli intervalli angolari tra i raggi nelle diverse regioni del campo visivo. Le cose sono dunque viste tramite un numero variabile di raggi visuali e da questo dipende l’accuratezza

20) Medaglia S. M., Russo L., *Sulla prima “definizione” dell’Ottica di Euclide*, in “Bollettino dei Classici”, Accademia dei Lincei, 16 (1995), pp. 41-54, pag. 47

della visione. Sono poi viste secondo angoli diversi e da ciò dipende la grandezza apparente degli oggetti.

Si è detto che Teone, nell’introduzione alla sua revisione dell’*Ottica*, compie alcune osservazioni relative alla ricerca di un ago perduto sul pavimento, che risulta rintracciabile solo quando lo sguardo si dirige esattamente su di esso, cioè se è al centro del cono visivo. Così pure avviene, egli aggiunge, per leggere le lettere di uno scritto. Teone riferisce queste osservazioni affermando che erano utilizzate da Euclide per spiegare agli allievi gli intervalli presenti nei raggi visuali.

La prima premessa, nel testo originale greco, così come ricostruito filologicamente da Medaglia e Russo, consente di affermare che il concetto che Euclide vuole esprimere è che la distribuzione dei raggi non solo è discreta ma è anche non uniforme ed è più fitta nel centro del cono, che corrisponde al centro della retina, proprio allora scoperta da Erofilo. Quest’ultimo, infatti, che usa, fra gli altri, il termine “*arachnoeides*”, non a caso le aveva dato tale nome; avere il centro più fitto contraddistingue infatti in modo particolare la ragnatela. Anche il testo della prima premessa della revisione teonina, se viene supportato dalle notazioni della premessa di Teone, in definitiva esprime il medesimo concetto.

Il recupero del testo della prima definizione, che ricostruisce il concetto plausibilmente espresso da Euclide, testimonia sia il valore scientifico del trattato che le alterazioni con cui sono stati trasmessi i testi della scienza ellenistica, e ribadisce la necessità di recuperare l’intera opera.

Nella traduzione del 1996 di Incardona, che si avvale degli studi filologici e storici già pubblicati da Medaglia e Russo, non vengono forniti chiarimenti in merito; la traduttrice si limita a rilevare che il testo presenta delle corruzioni e che l’interpretazione più attendibile delle ultime parole della definizione è che siano espressione del concetto della discretizzazione dei raggi visivi.

Nella prima premessa del codice greco pubblicato da Heiberg, il greco “εὐθεια γραμμῆ”, letteralmente “linea retta”, è tradotto in latino con “lineas rectas” che è traducibile con “segmenti rettilinei” e non con “rette” in quanto Euclide ha già mostrato negli *Elementi* di non concepire le rette come illimitate a priori. Ver Eecke traduce con “lignes droites”. Nella seconda premessa del medesimo codice questi segmenti vengono detti “raggi visuali” che sono, per l’autore, gli elementi della sua teoria; sono un modello funzionale per porre in collegamento la teoria e la realtà della quale si intende dare una rappresentazione. Si tratta di una razionalizzazione delle percezioni visive per costruire, secondo la filosofia stoica, una realtà misurabile, riproducibile e dunque indagabile. L’omogeneità metodologica dell’*Ottica* con gli *Elementi* è evidente.

Nella sua revisione Teone nella prima premessa parla non di segmenti ma di raggi visuali che, emessi dall’occhio, vanno in linea retta. Per Teone il soggetto non sono più i “segmenti” bensì i raggi visuali, non più considerati enti teorici ma visti come una realtà oggettiva, come il fluido emanato dagli occhi verso le cose per riportarne le immagini.

Per indicare il raggio visuale Teone utilizza sempre il termine οψις, già utilizzato nella tradizione da Platone e Aristotele per indicare il fluido visivo. Euclide, che utilizza tale termine nella II e nella III premessa, lo sostituisce poi con il termine ακτις, usato esclusivamente per indicare un raggio di luce quale è emesso da sorgenti luminose.

Un’altra importante differenza fra le premesse di Teone e di Euclide è l’aver attribuito, da parte di Teone, la natura di “raggio rettilineo” alla luce, mentre tale affermazione non viene fatta da Euclide. Anche se egli suppone rappresentabile l’informazione visiva tramite segmenti rettilinei, non fa però alcuna affermazione esplicita sulla realtà naturale della luce. Costruisce infatti un modello della percezione visiva e non della propagazione della luce.

Anche la figura conica della seconda premessa, avente per vertice l’occhio e per base la cosa vista, è un modello che ha la stessa funzione rappresentativa del segmento. Ma anche questa struttura geometrica astratta dello scienziato alessandrino si è detto che ha dato luogo a numerose interpretazioni fisiche materiali e che le viene attribuita una natura fisica, causale e legata al verso di propagazione della luce anziché la natura di modello descrittivo del fenomeno.

Ovio, nel 1918, commenta che il cono visivo è la conseguenza logica del concetto che escano raggi dall’occhio ad abbracciare l’oggetto che si vuol vedere e aggiunge che “anche oggi si ammette questo cono di raggi luminosi [...] ma però composto di raggi diretti in senso inverso, cioè dall’oggetto all’occhio”. Egli spiega in tal modo come fisiologicamente si generi sul piano della retina l’immagine geometricamente simile all’oggetto che egli definisce, matematicamente parlando, un’immagine “prospettiva” o anche una “proiezione dell’oggetto”.²¹

Discute poi a lungo su quale parte dell’occhio debba essere considerata sede del vertice del cono. Ovio afferma di aver compiuto ricerche storiche sui testi antichi, da Euclide a Tolomeo, da Damiano ad Eliodoro, dagli arabi a Vitellione, senza aver ottenuto risultati convincenti. La ricerca di Ovio non può che essere senza risultati perché, mentre Euclide presenta nel cono un modello, gli studiosi dopo di lui, che si chiedono dove possa aver sede fisicamente il vertice, ovviamente non riescono a trovarlo. Ovio prende in esame la fisiologia del fatto visivo così come è rappresentabile per un occhio accomodato e per un occhio non accomodato.

P. Ver Eecke, in merito all’ipotesi euclidea del cono visivo, afferma che è falsa e non corrisponde alla realtà dell’immagine retinica, anche se ha permesso ai primi studi di ottica, più teorica che sperimentale, di trarre dei teoremi geometricamente validi.

21) Ovio G., op. cit., pag. 23

V. Ronchi, fisico del XX secolo, nella sua *Storia della luce* del 1939, vede nella seconda premessa e nel concetto di cono visivo il fondamento della prospettiva poi sviluppata nei teoremi.

Nel 1948 A. Lejeune²² comprende che, non solo l'idea di Euclide di considerare la figura formata dai raggi uscenti dall'occhio come un cono non era sbagliata, ma era addirittura necessaria. Afferma lo studioso che per ottenere un modello matematico della visione è necessario che l'insieme dei raggi abbia origine nell'occhio mentre non è importante scegliere il verso di percorrenza del raggio, che non ha alcuna relazione col verso di propagazione della luce che è un argomento non affrontato da Euclide.

La terza premessa (Ovio 3 e 4) esprime l'idea che è necessario e sufficiente che ad un oggetto giungano i raggi visivi perché lo si veda. Ver Eecke vi legge un richiamo alla prima premessa in quanto i raggi uscenti dagli occhi, raggi che si propagano divaricandosi, non possono vedere gli oggetti situati negli intervalli fra i raggi.

Le premesse 4, 5 e 6 (Ovio dalla 5 alla 11) riguardano il collegamento fra gli elementi geometrici e spaziali (angoli e direzioni) e il giudizio sulla posizione degli oggetti nello spazio e contengono concetti di natura fisiologica e psicologica. Includono infatti il concetto che la grandezza dell'oggetto è desunta dalla grandezza dell'angolo sotto cui l'oggetto appare e che il giudizio è in funzione della grandezza delle immagini ma si basa anche sui dati dell'esperienza perché il soggetto mette in rapporto l'elemento della grandezza con la distanza a cui si ritiene si trovi l'oggetto, che è guardato e giudicato anche in relazione con altri oggetti noti che stanno intorno. Ovio sottolinea dunque come sia necessario distinguere fra grandezza reale e grandezza apparente e come l'educazione svolga un ruolo importante perché il soggetto possa emettere un giudizio il quale, essendo basato su una grandezza

22) Lejeune A., *Euclide et Ptolomee: deux stades de l'optique geometrique greque*, Luvain, Bibliotheque de l'Université, 1948

apparente, può essere errato. Essendo la retina sferica ciò è evidente poiché “nel circolo, gli angoli sono proporzionali agli archi; considerando dunque l’immagine nella sua più semplice espressione, la grandezza dell’immagine apparisce proporzionale all’angolo che la comprende”.²³ (fig. 3.2)

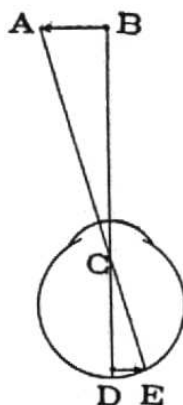


Figura 3.2 - Immagine impressa sulla retina (Ovio)

Secondo Ver Eecke le premesse 5 e 6 ritengono erroneamente suscettibili di dimostrazioni geometriche fenomeni che sono illusioni ottiche risultanti dall’anatomia dell’occhio e dall’interpretazione psichica personale. A suo parere sono fenomeni legati a speculazioni filosofiche sulla localizzazione spaziale degli oggetti.

La settima premessa (Ovio n.12) ha natura fisiologica. Si è detto che è evidente in questa premessa il rapporto del concetto espresso con le osservazioni anatomiche di Erofilo. Ovio afferma che si presta a più di una interpretazione: o deve intendersi che si vede meglio un oggetto quanti più punti di esso si possono vedere oppure che si vede meglio l’oggetto più grande perché visto con maggior numero di angoli, cioè con maggior numero di raggi che hanno intervalli fra di loro. Secondo Ver Eecke essa dipende dalla prima premessa poiché gli oggetti sono visti più distintamente se su di essi incidono raggi visuali più numerosi.

23) Ovio, op. cit., pag. 29

Nel testo di Ovio le premesse riportate risultano quattordici in quanto diversamente formulate e perché provenienti da codici diversi che Russo definisce “di nessuna utilità”, escluso naturalmente quello pubblicato da Heiberg.

Le ultime due premesse Ovio riferisce di averle trovate, fra parentesi, solo in alcuni autori.

La tredicesima premessa accenna al concetto della velocità dei raggi visivi e della luce che non ha seguito nell'opera. La quattordicesima premessa è giudicata da Ovio “di osservazione comune”; il suo concetto è già espresso nella terza premessa.

Definito “ciò che va posto prima”, seguono i teoremi.

3.3.6 I teoremi

Per avere nozione del contenuto dei teoremi li si prendono in esame nella traduzione di Giuseppe Ovio, tenendo conto dei suoi commenti, talora seguiti da alcune sue dimostrazioni geometriche e spesso assai ricchi di osservazioni di carattere fisiologico. Si sono tenuti presenti il succinto commento di Paul Ver Eecke e le scarse annotazioni di Francesca Incardona.

Nel testo di Giuseppe Ovio i teoremi, il cui testo è riportato integralmente in allegato, sono sessantadue. Nel testo greco originale pubblicato da Heiberg sono cinquantotto. Si riportano altresì in allegato i testi dei teoremi nella traduzione di F. Incardona.

I primi tre teoremi ed il IX sono collegabili con la fisiologia della visione. Questi teoremi infatti sono la conseguenza della prima premessa che è connessa con la azione di discretizzazione propria della retina.

PROPOSIZIONE I.

TEOREMA.

Un oggetto non può vedersi nella sua totalità d’un solo colpo d’occhio (1).

Sia un oggetto qualunque AD (fig. 9) e l’occhio B , dal quale emanino i raggi BA, BG, BD (2). Poiché i raggi che par-

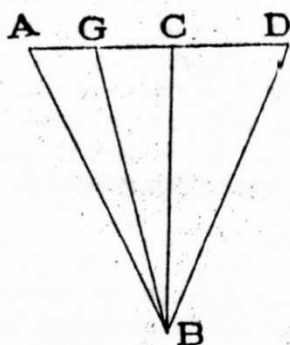


Fig. 9.

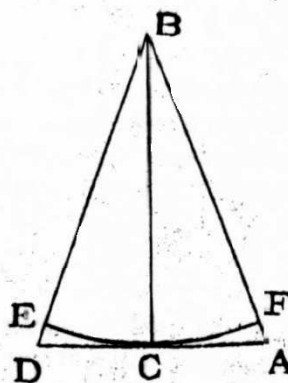


Fig. 10.

tono dall’occhio lasciano fra loro un certo intervallo (3), non arrivano continui sull’oggetto AD . Vi è quindi su AD qualche intervallo al quale i raggi non pervengono, e per questo, AD non può vedersi in totalità simultaneamente, e se sembri vederlo, si è per la grande rapidità con cui i raggi visuali trascorrono.

(1) ἄμα, simul.

(2) Come ho indicato nell’avvertenza, si deve intendere «al quale arrivano i raggi...».

(3) Vedi prefazione.

Figura 3.3 – Teorema I, dal testo di Giuseppe Ovio

Nella traduzione latina della revisione teonina pubblicata da Heiberg il I teorema è espresso così: *Nihil eorum, quae cernuntur, simul totum cernitur*. Nella traduzione del codice originale greco si legge invece: *Nullum uisorum simul uidetur totum*. Le traduzioni in italiano di Ovio e di Incardona sono rispettivamente: “Un oggetto non può vedersi nella sua totalità d’un solo colpo d’occhio.” (fig. 3.3) e “Nessuna delle cose viste è vista tutta insieme”.

Ovio riporta non solo la dimostrazione che si trova nel testo teonino di Heiberg ma anche altre, come pure scoli che trova nei diversi testi che prende in esame e fa seguire al teorema

considerazioni approfondite e accurate sul concetto espresso, soffermandosi sulla sensibilità della retina, sulla velocità della percezione e sull’esperienza del soggetto.

Ver Eecke traduce: “Nulle grandeur regardée n’est vue simultanément tout entière” e afferma succintamente che il teorema esprime un fenomeno fisiologico che dipende dalla non uniformità della retina, dal tempo di accomodazione della vista e da un elemento psichico imponderabile. Egli conclude che Euclide compie un errore nel fondare il teorema sulla prima premessa.

Il II teorema afferma: “Di oggetti eguali, differentemente distanti, i più vicini si discernono più chiaramente”. Questo principio si fonda sulla settima premessa (Ovio n. 12). Incardona parla direttamente di “migliore risoluzione”.

Nel III teorema si afferma: “Per qualunque oggetto vi è una determinata distanza oltrepassata la quale esso non si vede più.” (fig. 3.4).

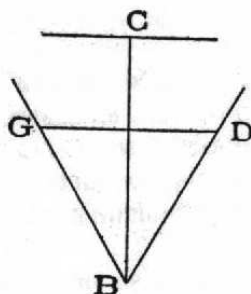


Figura 3.4 – Figura del teorema III dal testo di Ovio

Dopo le varie dimostrazioni di natura geometrica riportate a seguito del teorema, Ovio commenta: “Queste dimostrazioni, logiche secondo quanto è ammesso nelle premesse, oggi non sono più sostenibili. Il principio però espresso in questa proposizione è giusto: vi è un limite di grandezza per il riconoscimento d’un oggetto. Ma questo limite è dato non dal fatto che se un oggetto è molto piccolo, cade entro l’intervallo compreso tra due raggi vicini, bensì dal fatto che questo minimo oggetto dà una così scarsa quantità di raggi luminosi che il punto di retina colpito, non ne resta impressionato”.

Ovio non è consapevole del fatto che anche Euclide basava la sua teoria sulla densità di distribuzione degli elementi sensibili della retina e la sua obiezione allo scienziato alessandrino è dovuta all’erronea idea che questi vedesse nei raggi visuali una realtà fisica concreta. Si sofferma dunque a chiarire la dimostrazione in termini di quantità di luce che, proveniente dall’oggetto, va a colpire l’occhio. Distingue poi tra la percezione di una sorgente luminosa e quella della forma di un oggetto.

Ver Eecke avanza la medesima obiezione giudicando “illusoria” la dimostrazione geometrica basata sulla terza premessa.

Il IV teorema afferma: “Di uguali lunghezze, considerate su una medesima retta, quelle che si vedono a una distanza maggiore appaiono minori.” (fig. 3.5).

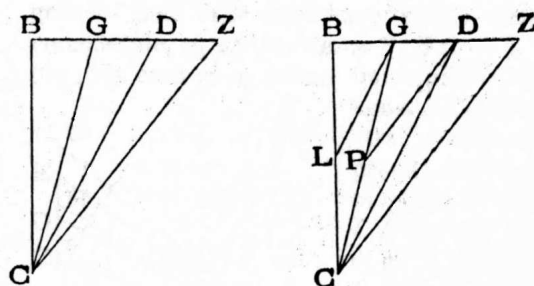


Figura 3.5 - Figura del teorema IV nel testo di Ovio

Con questo teorema hanno inizio i teoremi più propriamente prospettici.

Ovio, dopo aver affermato che la grandezza apparente è in rapporto con gli angoli, spiega che per questa ragione le teste delle statue si fanno esageratamente grandi, giacché viste dal basso apparirebbero sproporzionate se fatte nella giusta proporzione.

Anche Ver Eecke rileva che questo teorema è applicato nei monumenti antichi ed in particolare nella colonna traiana.

Il termine usato per indicare i raggi visuali viene modificato ed Euclide d’ora in avanti farà poco uso del postulato della discretizzazione dei raggi visuali.

Le affermazioni di Euclide che seguono le esposizioni dei teoremi dal IV al VII sono confrontabili con alcune proposizioni degli Elementi, di cui sono una conseguenza.

Il teorema V (fig. 3.6) enuncia: “Oggetti uguali, inegualmente distanti, appaiono ineguali, e sempre maggiore quello più vicino all’occhio”. Questa proposizione enuncia un principio fondamentale: Ovio fa lunghe considerazioni concludendo che si può ritenere la grandezza delle immagini come proporzionale alla grandezza dell’oggetto, all’angolo che comprende l’oggetto e inversamente proporzionale alla distanza dell’oggetto.²⁴

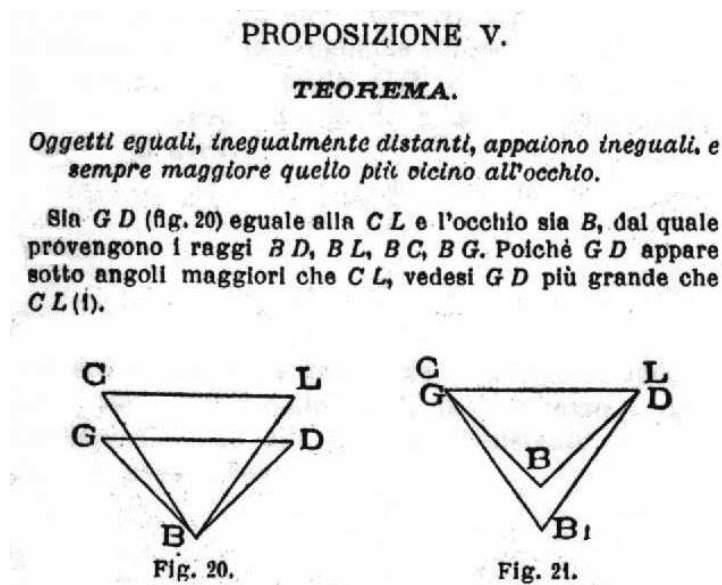


Figura 3.6 - Teorema V dal testo di Ovio

L’enunciato del VI teorema (fig. 3.7) è: “Rette parallele viste in distanza, non appaiono parallele.”. Questa proposizione risulterà assai importante per lo studio della prospettiva, argomento che si affronterà in seguito.

24) Ovio G., op. cit., pag. 58: “Questo principio [...] lo si dimostra con la grandezza dell’angolo che comprende l’oggetto [...] Ciò è esatissimo e quando si considerino oggetti-arco ed immagini-arco, tutto corrisponde perfettamente perché gli angoli sono proporzionali agli archi”.

PROPOSIZIONE VI.

TEOREMA.

Rette parallele viste in distanza, non appaiono parallele.

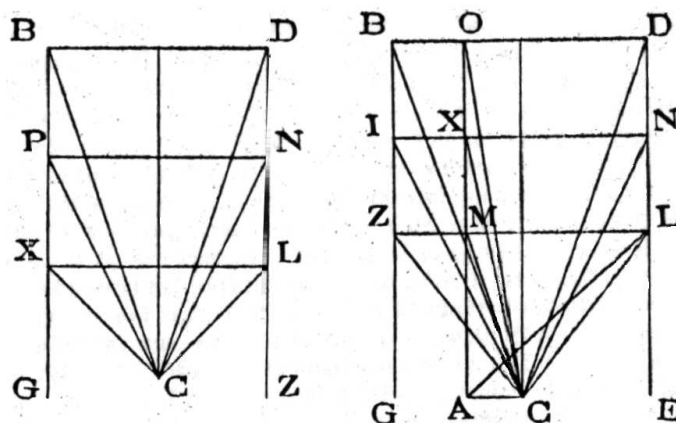


Figura 3.7 - Teorema VI, Giuseppe Ovio

Il principio sostenuto nella dimostrazione di questo teorema riguarda, afferma Ovio, due casi distinti, a seconda che l’occhio appartenga o meno al piano su cui giacciono le due parallele. Il fenomeno dell’apparente restringimento delle linee guardate, infatti, è molto più manifesto nel primo dei due casi. Egli sottolinea il generarsi di illusioni dovute a “l’impicciolimento” delle immagini per la lontananza dell’oggetto e “la difficoltà di apprezzare le distanze di questo” ed offre l’esempio di una strada fiancheggiata da alberi o da pilastri.

Il VII teorema, legato alla prospettiva, enuncia: “Oggetti uguali posti su una stessa retta ma distanti fra loro appaiono ineguali” (tr. Ovio).

Il teorema VIII, “Oggetti uguali, inegualmente distanti dall’occhio non conservano la stessa ragione cogli angoli e colle distanze.”, può essere espresso in termini trigonometrici affermando che il coseno non è funzione lineare dell’angolo. In epoca rinascimentale i traduttori latini del testo, non comprendendo il significato di questo teorema, lo interpretarono alterandolo. Ovio afferma infatti che il principio sostenuto in questa proposizione non è

espresso nel modo più chiaro e offre una sua interpretazione, che egli desume dalla dimostrazione: “Oggetti uguali, inegualmente distanti dall’occhio, danno immagini la cui grandezza non è proporzionale alle distanze” e la conferma ponendo a confronto il testo come pubblicato nel *Pena* e i due diversi testi riportati da Heiberg, quello originale e quello interpolato. Si vedrà come Panofsky e Gioseffi nel XX secolo discuteranno sul contenuto di questo teorema che viene studiato, e talora travisato, al fine di comprendere le idee alla base della prospettiva ellenistica.

Il teorema IX, tornando ad occuparsi della capacità dell’occhio di distinguere la forma di un oggetto, afferma: “Oggetti rettangolari, guardati da lontano, appaiono circolari.”. La sintetica dimostrazione che lo segue è giudicata erronea da Ovio, che pur condivide il principio espresso. Si sofferma dunque a dare spiegazioni sul fenomeno ottico dell’irradiazione dovuto all’imperfezione dell’apparecchio diottrico dell’occhio per cui sulla retina non si dipingono immagini nette ma diffuse. Ancora una volta il principio sottinteso della natura discreta degli elementi fotosensibili della retina non può da Ovio essere attribuito ad Euclide.

Ver Eecke parla dell’effetto di irradiazione della luce che la fisica degli “Anciens” non poteva spiegare e giudica oscura la dimostrazione. Egli esprime inoltre l’opinione che i teoremi X e XI siano la conseguenza delle affermazioni della quinta e della sesta premessa.

Il teorema XII (fig. 3.8), ampliamento del VI, è utile per teoremi dal L in poi che riguardano il problema della relatività del moto. Enuncia: “Oggetti che stanno sui punti più lontani di rette parallele distese dinnanzi all’occhio, se posti a destra sembrano inclinare verso sinistra se a sinistra sembrano inclinare verso destra.”.

PROPOSIZIONE XII.

TEOREMA.

Oggetti che stanno sui punti più lontani di rette parallele distese dinnanzi all’occhio, se posti a destra, sembrano inclinare verso sinistra, se a sinistra, sembrano inclinare verso destra.

Sieno gli oggetti BG , DZ distesi longitudinalmente davanti all’occhio C dal quale provengono i raggi CG , CA , CB , CZ , CI , CD . Sembrerà che il punto D si porti più verso sinistra che il punto I (1) e parimenti il punto B più a destra che il punto A , cioè gli oggetti che stanno nei punti più lontani di parallele distese dinnanzi all’occhio, ecc.

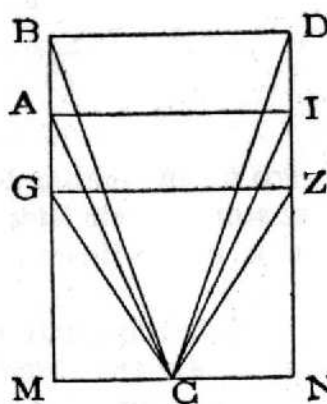


Fig. 43.

(1) Promesso 10^a e 11^a.

Figura 3.8 - Teorema XII dal testo di Ovio

I teoremi XV, XVI e XVII si occupano della misurazione della differenza tra le lunghezze di due segmenti (o oggetti) e di come la posizione dell’occhio possa portare a differenti errori di sovrastima o sottostima.

Il teorema XVIII afferma “Data un’altezza, conoscere quale sia.” (tr. Ovio) o “Sapere quanto è grande un’altezza data, quando c’è sole.” (tr. Incardona). Con i due successivi, questo teorema è l’unico che parli di raggi di sole e di ombre. Poiché il problema che pone era già stato risolto da Talete (c.a. 624-547 a.C.) allorquando in modo analogo questi misurò l’altezza di una piramide con un bastone, viene visto in questo teorema il rispetto di Euclide per la tradizione, atteggiamento già testimoniato anche negli *Elementi*; in alternativa si ritiene possa trattarsi di un’aggiunta spuria.

Il teorema XIX, l’unico che fa uso degli specchi e che quindi tratta un argomento proprio della Catottrica, opera che molti oggi ritengono non essere stata scritta da Euclide, è probabilmente spurio.

I teoremi XVIII, XIX e XX sono, secondo Ver Eecke, tre problemi di altimetria correttamente risolti di cui il XIX è interpolato.

Ovio, rilevando come i teoremi dal XVIII al XXI insegnano vari modi per misurare le distanze, afferma: “di questi modi [per misurare le distanze] se ne trova nell’antichità un numero infinito e molti per verità ingegnosissimi. [...] Fra i primissimi metodi proposti sono questi di Euclide, importanti per la loro semplicità e perché segnano il principio di quella lunga serie che col volgere dei secoli condusse ai metodi e apparecchi perfezionati, meravigliosamente esatti che oggi si hanno.”

Ovio presenta il metodo per misurare la distanza fra due punti mediante il quadrato geometrico e mediante la squadra ed il metodo per misurare, sempre mediante il quadrato geometrico, una determinata altezza, a cui non sia possibile accostarsi, direttamente o tramite un’altra altezza.

Al teorema XXII, “Una circonferenza descritta sullo stesso piano nel quale è l’occhio, apparisce come una linea retta”, seguono due dimostrazioni che Ovio riprende dall’edizione del Pena, il quale attribuisce a Pappo la seconda. Nel testo originale di Heiberg la seconda dimostrazione è posta per prima “come fosse di Euclide”. Ovio fa seguire una lunga nota circa le varie edizioni e gli scoli aggiunti ma conclude che “né l’una né l’altra di queste due dimostrazioni riesce soddisfacente (come del resto nemmeno i ragionamenti fatti su questo stesso argomento nella prefazione di Teone)”²⁵. Ver Eecke afferma che in tutti i manoscritti è presente una lacuna che oscura il testo. Incardona afferma che il lessico è proprio del linguaggio di epoche successive e conclude che le dimostrazioni sono spurie.

I teoremi dal XXIII al XXVIII descrivono come viene vista una sfera osservata con un occhio solo o da lontano, in quanto le due

25) Ovio G., op. cit., pag. 117

situazioni possono venir trattate in maniera analoga, oppure con entrambi gli occhi, nel qual caso vengono distinti vari casi, a seconda che il diametro della sfera sia maggiore, uguale o minore della distanza interpupillare.

Il XXV teorema riportato da Ovio, “La sfera guardata da lontano apparisce come un circolo”, è assente da entrambi i testi dell’edizione di Heiberg. Dopo lunghe riflessioni, Ovio conclude che ha una “dimostrazione non [...] molto soddisfacente.” Ne trae spunto per parlare di come l’orizzonte e il cielo appaiano rotondeggianti, e per ragionare dell’apparenza schiacciata della volta terrestre e dell’apparente ingrandimento degli astri sull’orizzonte.

Anche del teorema XXVIII (Ovio XXIX) il testo di Heiberg riporta una dimostrazione alternativa che Incardona giudica spuria.

Seguono altri sei teoremi, dal XXVIII al XXXIII (Ovio XXIX - XXXIV), che si occupano di come vengano visti altri solidi di rotazione, in specifico cilindri e coni a base circolare. Secondo Ver Eecke questi teoremi sono i primi ad avere una dimostrazione geometrica rigorosa.

Del teorema XXXII (Ovio XXXIII) (fig. 3.9) Heiberg riporta una parte fra parentesi, indicandola fra i “loci corrupti”. Ciò è particolarmente rilevante in quanto questo è l’unico punto del trattato in cui l’affermazione che i raggi visuali “si propagano” (“ $\phi\epsilon\rho\nu\nu\tau\alpha\iota$ ”) (dagli occhi in modo rettilineo) è espressa in maniera esplicita piuttosto che lasciata sottintesa. È dunque plausibile una manomissione del testo.

PROPOSIZIONE XXXIII.

TEOREMA.

Se sulla base circolare di un cono arrivano i raggi emanati dall’occhio, posto nello stesso piano della base, e dal punto di contatto si conducono due rette sulla superficie del cono fino a toccarne il vertice, e per queste rette e per i raggi si fanno passare due piani, e l’occhio conservando la primitiva direzione, scorre sulla comune sezione di questi due piani, la parte del cono veduta apparirà sempre eguale.

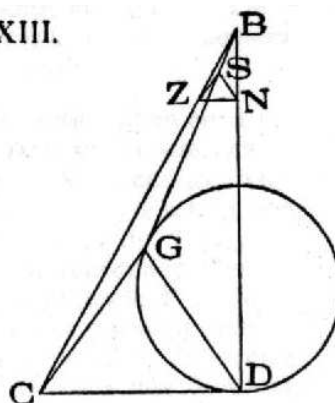


Fig. 79.

Figura 3.9 - Teorema XXXIII dal testo di Ovio

I teoremi XXXIV e XXXV (Ovio XXXV, XXXVI e XXXVII) hanno una particolare importanza perché avendo potenziali applicazioni astronomiche costituiscono uno dei legami fra quest’opera e i *Fenomeni*. Il teorema XXXV (Ovio XXXVII, seconda parte), che è il più complesso e lungo di tutta l’opera, dà ragione del fatto che le orbite degli astri si possono talora vedere ellittiche anche se sono circolari. Ovio dalla proposizione XXXVI, così come la si trova nei testi greci e latini, stacca una parte, unendola alla proposizione XXXVII (fig. 3.10), in quanto, afferma, “a me sembra più logico e quindi vantaggioso per la chiarezza”.

Ver Eecke afferma che questi teoremi sono i più interessanti del trattato a motivo della dimostrazione geometrica; essi considerano come si presentano alla vista i diametri di un cerchio guardati da un punto esterno al suo piano. Egli rileva che il teorema XXXV, pur non affermandolo esplicitamente, mostra che il cerchio ha, nel caso considerato, l’apparenza di un’ellissi. Tale conclusione, a suo dire, è espressa in modo più evidente dal teorema XXXVI.

PROPOSIZIONE XXXVII.

TEOREMA.

Dato un circolo, all'occhio posto all'estremità di una retta innalzata dal centro ed inclinata, e non eguale al raggio, i diametri che con questa retta fanno angoli eguali, appaiono eguali, quelli che non fanno angoli eguali, appaiono ineguali (1).

Primo caso.

Si abbia un circolo il cui centro sia *A*, e da esso si innalzi la *AZ* che non sia eguale al mezzo diametro e non sia perpendicolare al piano del circolo, ma faccia gli angoli *DAZ*, *ZAG* eguali, e pure eguali gli angoli *CAZ*, *ZAB* (figura 85). Dico che all'occhio in *Z*, i diametri che fanno angoli eguali appaiono eguali. Essendo infatti nei triangoli *DAZ* e *GAZ* il lato *DA* eguale al lato *AG*, il lato *AZ* comune, ed eguali gli angoli compresi, la base *DZ* è

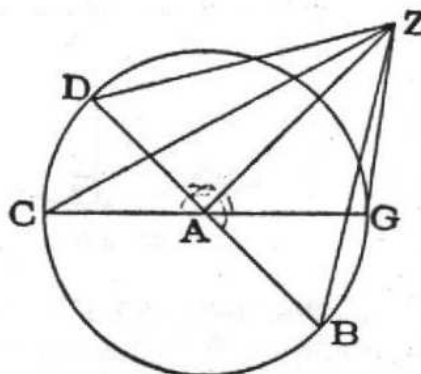


Fig. 85.

eguale alla base *ZG*, e parimenti l'angolo *DZA* eguale all'angolo *AZG* (2). Nello stesso modo si dimostra che l'angolo *CZA* è eguale all'angolo *AZB*. E perchè così l'intero angolo *DZB* è eguale a tutto l'angolo *CZG*, i diametri *DB* e *CG* appariranno eguali, giacchè la retta che dall'occhio va al centro del circolo fa angoli eguali coi diametri.

(1) La prima parte di questa proposizione trovasi nei testi greci e latini aggiunta alla proposizione XXXVI; a me sembra più logico, e quindi vantaggioso alla chiarezza, staccarvela, e aggiungerla invece alla proposizione XXXVII.

(2) *Elementi*, I°, 4.

Figura 3.10 - Teorema XXXVII dal testo di Ovio

Seguono in Ovio i teoremi XXXVIII e XXXIX con alcune interpolazioni di Teone e dimostrazioni alternative dello stesso, che Heiberg segnala.

Il teorema XXXVI (Ovio XL) (fig. 3.11), che si richiama alla realtà concreta delle ruote dei carri, sembra più un esempio pratico o un'applicazione dei teoremi precedenti. Ovio commentandolo fa alcune considerazioni su come l'occhio "educato", ma potrebbe dire la psiche, automaticamente utilizzi informazioni dovute alla nostra

esperienza e sappia interpretare ellissi come forme circolari e viceversa, ovviando agli effetti visivi dovuti al punto di osservazione. Porta diversi esempi fra i quali i finestrini rotondi e gli orologi delle chiese e dei campanili, che nelle foto appaiono ellittici, mentre l’occhio “educato” trae dall’immagine deformata il criterio della forma vera dell’oggetto.



Figura 3.11 - Teorema XL dal testo di Ovio

Commentando le proposizioni dalla XXXV alla XL, Ovio afferma che non vi è nulla da eccepire sulla loro esattezza, ma sottolinea che la loro importanza è più teorica che pratica. Dichiarò di condividere l’opinione espressa da Govi, nella sua *Ottica di Tolomeo*, che Euclide trattò l’ottica “un po’ troppo da geometra”.²⁶

Nei teoremi dal XXXVIII al XLIX (Ovio XLI-LII) Euclide prende in esame le motivazioni geometriche alla base di possibili

26) Ovio G., op. cit., pag. 164

errori di valutazione riguardo a posizione e dimensione di oggetti osservati. (fig. 3.12)

PROPOSIZIONE XLII.

TEOREMA.

Se un'altezza è perpendicolare al piano sottoposto, e l'occhio gira attorno alla circonferenza di un circolo il cui centro sia il punto di contatto dell'altezza col piano, l'altezza guardata apparirà sempre eguale.

Sia AB l'altezza guardata, eretta ad angoli retti sul piano sottoposto, e l'occhio sia G . Dal centro B con intervallo BG si descriva il circolo BG (fig. 106). Dico che se l'occhio G gira attorno alla circonferenza, l'altezza AB apparisce costantemente eguale. Ciò riesce evidente così: Tutti i raggi che dal punto G vanno all'altezza AB sono sempre eguali, giacché l'angolo in B è sempre retto. Perciò l'altezza guardata apparisce costantemente eguale.

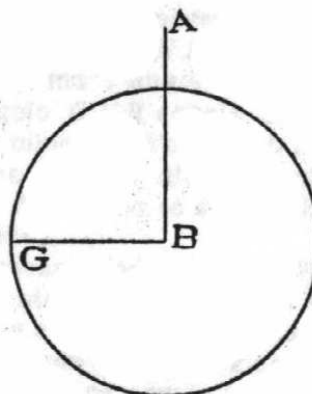


Fig. 106.

Figura 3.12 - Teorema XLII dal testo di Ovio

Il teorema L (Ovio LIII) enuncia: “Di più oggetti, terminati ad una stessa retta, e mossi con eguale velocità, il più lontano sembra precedere gli altri, finché si vengono ad accostare alla direzione dell’occhio, ma una volta che hanno oltrepassata questa direzione, il più lontano sembra rimanere indietro, ed è il più vicino che sembra precedere gli altri.”

Con questo teorema iniziano i teoremi del moto relativo. La dimostrazione è basata sulla sesta premessa (decima e undicesima di Ovio) Il moto non è definito, è un moto “geometrizzato”, dove non viene considerata la variabile del tempo. Il concetto di velocità non viene definito da Euclide che lo considera un dato primo dell’esperienza.

Varie affermazioni di Galileo nel *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* rimandano a questi teoremi di Euclide e, in

particolare, al teorema LI (Ovio LIV) (fig. 3.13): “Di oggetti che si muovono con diversa velocità nello stesso senso in cui si muove l’occhio, quelli che si muovono colla stessa velocità dell’occhio sembrano immoti; quelli che si muovono più lentamente, sembrano mossi in senso contrario; quelli che si muovono più rapidamente sembrano muoversi nello stesso senso.”

PROPOSIZIONE LIV.

TEOREMA.

Di oggetti che si muovono con diversa velocità nello stesso senso in cui si muove l’occhio, quelli che si muovono colla stessa velocità dell’occhio, sembrano immoti; quelli che si muovono più lentamente, sembrano mossi in senso contrario; quelli che si muovono più rapidamente sembrano muoversi nello stesso senso.

Sieno gli oggetti *B, G, D* (fig. 131), che si muovano con ineguale velocità, e precisamente *B*, più lentamente, *G* colla stessa velocità dell’occhio, e *D* più celermente. Procedano dall’occhio *C* i raggi *CB, CG, CD*. Se l’occhio si muove nella stessa direzione dei tre oggetti *B, G, D*, si giudicherà che l’oggetto *G*, che si muove colla stessa velocità dell’occhio sia in quiete, che l’oggetto *B* invece rimanga indietro, anzi si muova all’indietro, e finalmente che *D* corra più celermente di *G*, cioè che si muova in avanti, giacchè *B* e *D* si vanno sempre più allontanando da *G*.

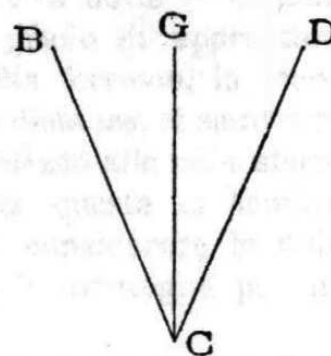


Fig. 131.

Figura 3.13 - Teorema LIV dal testo di Giuseppe Ovio

Questo teorema mostra come l’osservazione di ciò che è visto dipende dal moto relativo fra il soggetto che osserva e la cosa osservata. In questa proposizione L. Russo vede una conferma al fatto che il concetto della relatività del moto era già proprio dell’epoca ellenistica.

Ver Eecke, rilevando l’interesse storico scientifico del teorema LI (Ovio LIV), sottolinea che i teoremi dal L al LVI (Ovio LIII - LIX)

considerano i fenomeni visuali generati da grandezze in movimento e hanno carattere cinematico.

Il teorema LIII (Ovio LVI) è collegato alle premesse quarta e quinta (in particolare Ovio quinta e ottava). Enuncia “All’occhio che si accosta ad un oggetto può sembrare che questo ingrandisca.” Ovio spiega come l’ “occhio educato”, avendo nozione della grandezza e posizione di un oggetto lo giudichi sempre uguale tanto a cinque che a dieci che a quindici metri anche se l’immagine sulla retina mano a mano rimpicciolisce; ciò non avviene, fa notare lo studioso, quando, per qualsiasi causa, si perde la nozione della distanza. Tratta poi a lungo del fenomeno della irradiazione che si ha, ad esempio, nella contemplazione delle stelle.

Del teorema LIV (Ovio LVII) (fig. 3.14) nel testo dell’ *Euclidis Optica* di Heiberg appaiono due dimostrazioni alternative che non compaiono nel suo *Opticorum Recensio Theonis*.

Ver Eecke afferma che due delle tre dimostrazioni del teorema LIV presentano “loci corrupti”. Incardona, rilevati termini e linguaggi estranei alla trattazione euclidea e più generalmente greco-alessandrina, giudica il teorema un’aggiunta posteriore.

PROPOSIZIONE LVII.

TEOREMA.

Di oggetti, mossi con una certa velocità, quelli più distanti sembrano muoversi più lentamente.

Muovansi con eguale velocità gli oggetti *B* e *C* verso *Z* (fig. 134), e dall’occhio *A* si conducano i raggi *AG*, *AD*, *AZ*. I raggi che dall’occhio *A* tendono all’oggetto *C*, sono minori di quelli che tendono all’oggetto *B*. Perciò *C* percorre minore intervallo e quindi sembra muoversi più rapidamente perchè perviene più presto al raggio *AZ*.

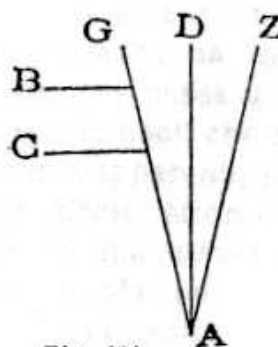


Fig. 134.

Figura 3.14 - Teorema LVII dal testo di Ovio

Il teorema LV (Ovio LVIII) enuncia: “Muovendo l’occhio rapidamente, gli oggetti più distanti sembrano rimanere indietro”. Questo teorema ed i seguenti trattano di movimenti parallattici, cioè dei movimenti per cui mutano i rapporti reciproci di posizioni che esistono fra più oggetti in movimento. Ovio nota come gli astronomi abbiano sempre a che fare con movimenti di questo genere e prende in considerazione i diversi possibili moti relativi tra occhio e oggetto osservato, prendendo in esame illusioni di quiete e di moto simultanee e consecutive ed illustrandoli con varie immagini geometriche.

PROPOSIZIONE LIX.

TEOREMA.

Gli oggetti ingranditi sembrano più vicini.

Sia l’oggetto GB che si veda coi raggi CG , CB (fig. 140). Cresca questo oggetto GB del tratto BD , e siavi anche il raggio CD . Sarà così l’angolo DCG maggiore dell’angolo BCG . E poichè ciò che è visto sotto angolo maggiore appare più

grande (1), l’oggetto GD apparirà più grande di GB . Ma anche ciò che è più vicino all’occhio apparisce maggiore (2), perciò l’oggetto GD sembrerà più vicino che l’oggetto GB .

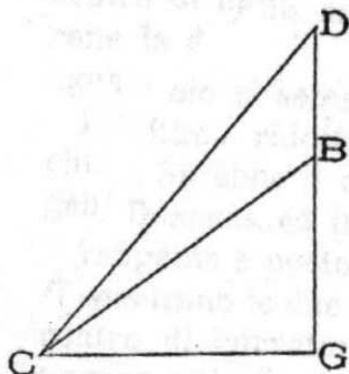


Figura 3.15 - Teorema LIX dal testo di Ovio

Il teorema LVI (Ovio LIX) afferma: “Gli oggetti ingranditi sembrano più vicini” (fig. 3.15). Ovio fa lunghe considerazioni sulla grandezza apparente degli oggetti determinata dalle lenti (fig. 3.16) e sulla possibilità di ingrandimenti apparenti degli oggetti grazie al potere di accomodazione dell’occhio. Non è da escludersi che anche Euclide abbia avuto presente il potere di ingrandimento delle lenti convesse allorchè scrisse questo teorema. Infatti, anche se a lungo si è

creduto che l’invenzione delle lenti come ausilio alla visione risalisse all’epoca medievale, recenti ritrovamenti archeologici hanno portato a retrodatare la conoscenza e l’uso di lenti molate ad epoche antichissime grazie a reperti trovati a Creta, Cnosso e Pompei.

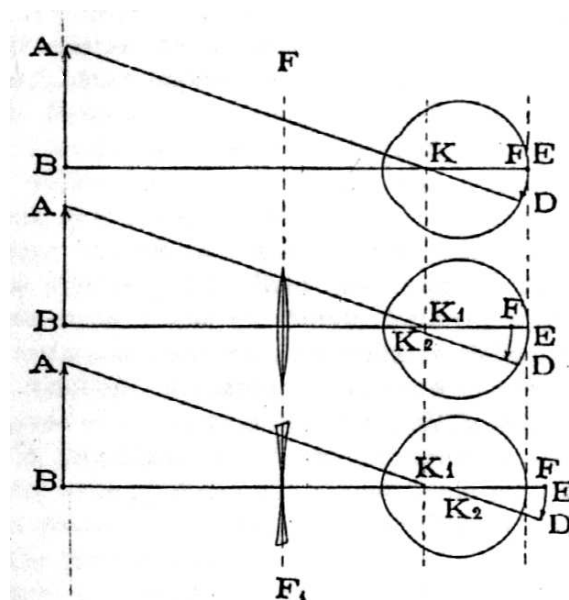


Figura 3.16 - Grandezza degli oggetti visti attraverso delle lenti

Il teorema LVII (Ovio LX) dice: “Oggetti inegualmente distanti dall’occhio, i cui punti estremi non sono paralleli ai punti estremi, né i medi ai medi, né sono in linea retta, formano una figura ora concava ora convessa” (fig. 3.17).

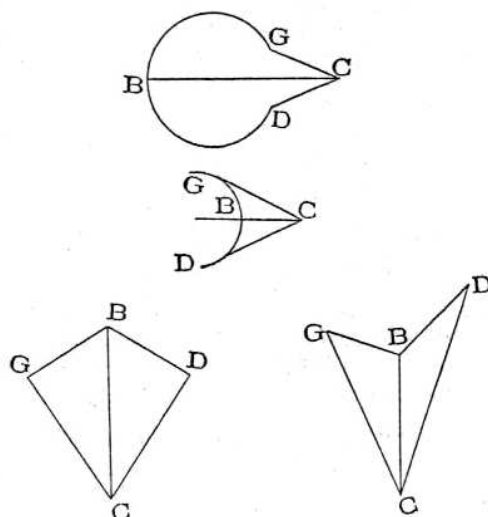


Figura 3.17 - Figure dal teorema LX nel testo di Ovio

Al riguardo Ovio afferma “è una misera proposizione questa, dove la dimostrazione non è che una ripetizione della tesi e quindi non dimostra nulla”, la tesi poi non è sostenibile ed è in contraddizione con le proposizioni precedenti. Lo studioso riporta i disegni relativi dai testi di Pena e di Heiberg. Anche la posizione del teorema, dopo il gruppo dei teoremi sul moto, suggerisce una inserzione posteriore.

Ver Eecke afferma che i teoremi LVII e LVIII sono di dubbia autenticità e li giudica interpolati nell’opera assai tardi. L’uno si presenta come una semplice affermazione a causa dell’alterazione del testo che rende il suo enunciato enigmatico, l’altro è giudicato estrapolato dal teorema XXXV che ne contiene già la dimostrazione.

L’*Euclidis Optica* termina con il teorema LVIII (Ovio LXI) che ripropone concetti simili alla prima parte del teorema XXXIV (Ovio XXXV). Nel testo di Ovio segue il teorema LXII, molto probabilmente aggiunto in secoli successivi.

Al termine del teorema LVIII, nel codice greco originale pubblicato da Heiberg, ripresa dal manoscritto vaticano del XIII secolo, è apposta la scritta “τελος των οπτυχων ευχλειδων”, ossia “Fine dell’*Ottica* di Euclide”, la quale indica che l’opera è completa.

3.4 Le applicazioni dell’*Ottica*

3.4.1 Applicazioni astronomiche e strumenti topografici

L’*Ottica* fu un’opera fondamentale per gli sviluppi scientifici e tecnologici che consentì con la sua applicazione. Si è detto che fu il ponte fra la geometria degli *Elementi* e le scienze collegate di cui costituì la base e lo strumento preliminare.

Fu il fondamento per lo scritto di astronomia *Fenomeni*, le cui osservazioni iniziali presuppongono la scienza della visione, e se ne vede l’uso anche nelle opere di Archimede, in particolare allorché questi, nella sua opera *Arenario*, misura, con una diottra, la grandezza del sole.

Permise la progettazione di strumenti visivi come l’astrolabio, usato per localizzare o predire la posizione dei corpi celesti, e di strumenti per il rilevamento topografico. Si sa dall’*Almagesto* di Tolomeo e dalla *Naturalis Historia* di Plinio che Ipparco usava apparecchi ottici il cui perfezionamento era notevole, data l’accuratezza delle sue misure astronomiche.

Eratostene, poeta e filologo, geografo e matematico, bibliotecario di Alessandria e perciò massimo responsabile della politica scientifica statale, è considerato fondatore della geografia scientifica. Egli disegnò la prima carta scientifica del mondo conosciuto ed ebbe il merito di aver misurato il meridiano terrestre. Tale impresa non fu una realizzazione personale ma fu finanziata dallo stato al fine di predisporre le tassazioni dei terreni.

Anche nelle realizzazioni urbanistiche vi sono testimonianze indirette dello sviluppo delle tecniche di rilevamento che sono necessarie per progettare. Esempio di ciò è la città di Pergamo per la quale fu effettuato il terrazzamento della collina.

3.4.2 Le arti figurative e la prospettiva

La scienza della visione ebbe importanti applicazioni nelle arti figurative. Tanto la scenografia quanto la pittura hanno il loro riferimento teorico nei teoremi dell’*Ottica*.

Il trattato di Euclide è il principale testo da cui si desumono le basi teoriche della prospettiva ellenistica. Infatti, per intersezione del cono visuale con un piano, dall’*Ottica* deriva una prospettiva analoga a quella moderna, con la convergenza di un fascio di rette parallele in un unico punto.

Se anche l’*Ottica* di Euclide non sviluppa le applicazioni scenografiche della teoria ottica e sono stati persi tutti gli antichi trattati riguardanti la scenografia e la pittura, ci sono pervenute opere in cui sono descritte applicazioni esplicite dell’ottica alla prospettiva.

La scenografia è descritta da Gemino, nel I secolo a.C., come una parte dell’ottica necessaria per disegnare l’apparenza degli edifici ed egli afferma che essa è utile a pittori, scultori e architetti.

Pappo, nel suo commento al trattato euclideo, utilizza il concetto di punto di fuga quando individua il punto attraverso cui occorre tracciare le rette di un piano perché appaiano parallele ad una retta data da un determinato punto di vista e Proclo nel suo *In Primis Euclidis Elementorum Librum Commentarii* parlando della scienza ottica la divide in ottica propriamente detta, catottrica e scenografia, della quale afferma che essa è quell’arte che mostra come gli oggetti possano essere raffigurati in modo da non sembrare sproporzionati o deformati.

Fra le fonti letterarie che testimoniano l’uso degli studi della scienza della visione per la scenografia e la prospettiva vi sono, ad esempio, gli scritti di Vitruvio che, nel suo *De Architectura*, afferma esplicitamente che, per dare un’idea del rilievo degli edifici teatrali, era usata la geometria dei raggi visuali. Per definire poi la scenografia, questi dichiara: “La scenografia, poi, è lo schizzo del fronte e dei lati che si allontanano e la corrispondenza di tutte le linee al centro del

compasso”.²⁷ La *Poetica* di Aristotele e le notizie pervenuteci sugli scenari teatrali usati nelle rappresentazioni delle tragedie costituiscono un’ulteriore testimonianza in tal senso.

Questo concetto è collegato chiaramente alla proposizione VI di Euclide che afferma che le rette parallele viste in distanza non sono viste parallele.

Per quanto concerne la prospettiva, la sua esistenza e la sua espressione nell’antichità, la disputa secolare che risale al Rinascimento, quando in Italia si discusse a lungo la questione se gli antichi conoscessero o no la prospettiva e se essa fosse assimilabile a quella “scoperta” in quegli anni, non si è ancora conclusa in epoca moderna.

Nel 1927, nel famoso saggio *La prospettiva come forma simbolica*, Panofsky sostiene che l’ottica euclidea avesse condotto gli antichi all’uso di una prospettiva diversa da quella lineare rinascimentale, una prospettiva giudicata più naturale ma più imprecisa di quella del XVI secolo. Fu un’opinione, la sua, molto discussa, anche se il giudizio non era negativo, perché l’autore, a conclusione del suo saggio afferma che le diverse prospettive che ogni epoca elabora, in quanto forme simboliche espressive di contenuti, sono comunque dotate di valore artistico. Panofsky vede nel procedimento prospettico greco la necessaria conseguenza di una impostazione angolare della prospettiva, desunta dall’ VIII teorema dell’*Ottica* nel quale Euclide afferma che la modificazione delle grandezze con la distanza al variare degli angoli non è proporzionale alle distanze, come invece avviene nella prospettiva lineare.

Per questa ragione, secondo Panofsky, il teorema VIII fu ignorato o emendato nelle traduzioni rinascimentali. La mancanza, poi, del punto di fuga unico nella prospettiva degli “Antichi”, è a suo

27) Vitruvio: *De Architectura* in L. Russo op. cit. pag. 85, “Item scaenographia est frontis et laterum abscentium adumbratio ad circinique centrum omnium linearum responsus”.

parere, conseguenza della mancanza del concetto di limite.

Gioseffi, nel suo *Perspectiva artificialis – Per la storia della prospettiva – Spigolature e appunti* del 1957, critica la tesi di Panofsky sulla non naturalità della prospettiva lineare, sostiene che non solo gli “Antichi” conoscevano la prospettiva, ma che la prospettiva ellenistica non è “curva” ma piana e con un punto di fuga unico come quella rinascimentale e ne adduce le prove con fonti letterarie e soprattutto con le pitture pompeiane del secondo stile.

D’altra parte, secondo Gioseffi, esiste una sola prospettiva la quale non è inventata ma solo scoperta dall’uomo ed è unica. Egli sottolinea che nell’*Ottica* di Euclide sono già stabilite nel VI teorema la convergenza delle parallele, nei teoremi X e XI la convergenza dei piani sopra e sotto l’occhio, mentre il teorema VIII, essendo un teorema di visione e non di prospettiva non stabilisce se le grandezze vadano disegnate in modo proporzionale alle distanze oppure no e il concetto di limite, pur non nominato, afferma, è già presente nel metodo di esaustione già attribuito ad Eudosso ed è usato da Euclide nel XII libro degli *Elementi*.

Nel XX secolo, per gli studi sulla prospettiva, gli studiosi fanno comunque ancora riferimento ad Euclide e al suo studio come fondamento di tutti gli studi e le applicazioni successivi.

Posteriori allo studio di Panofsky, scoperti nel 1961 nella casa di Augusto sul Palatino, gli affreschi della “stanza delle maschere”, (fig. 3.18) risalenti al 30 a.C. circa, testimoniano applicazioni esplicite dell’ottica euclidea alla prospettiva centrale.

Gli affreschi pompeiani nei quali si rappresentano edifici con tecniche tridimensionali e si creano effetti illusionistici mostrano l’uso delle regole geometriche.

Testimoniano l’uso della prospettiva anche i dipinti trovati nelle grandi ville suburbane, declassate ad aziende agricole e quindi non ridecorate alla moda, appartenenti al secondo stile di pittura

pompeiana, dipinti che al momento della distruzione di Pompei (79 d.C.) erano ormai vecchi di oltre un secolo.

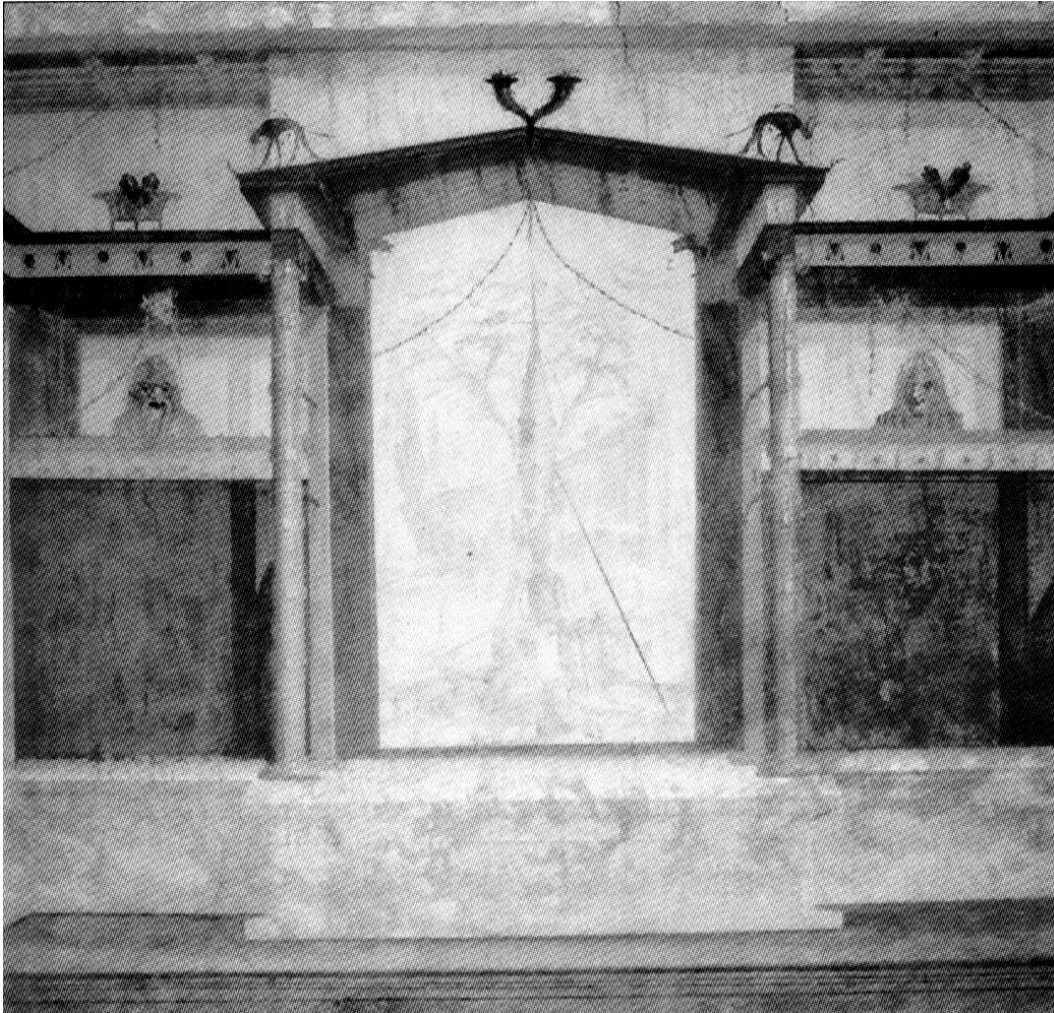


Figura 3.18 - Affresco dalla Stanza delle Maschere, Casa di Augusto (Domus Aurea), Colle Palatino. Per concessione del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Soprintendenza Archeologica di Roma, in Russo L., *The Forgotten Revolution*, Springer, Berlin, 2004

In una di queste grandi ville, la “Villa dei misteri”, ad esempio, si trova una pittura con un unico punto di fuga (fig. 3.19 e 3.20) e vi sono quadri con un unico punto di fuga nella parte superiore i quali, nella parte inferiore, sono aggiustati, secondo Gioseffi, per ovviare all’inconveniente della molteplicità delle posizioni di coloro che vivono nella casa e possono essere seduti, sdraiati o in movimento. Occorre considerare che, se dall’*Ottica* di Euclide deriva, per

intersezione del cono visuale con un piano, una prospettiva analoga a quella moderna, con la convergenza dei fasci di rette parallele in un unico punto, l'opera in se stessa ha per tema la visione degli oggetti e non la preparazione di disegni piani che generino particolari effetti visivi.

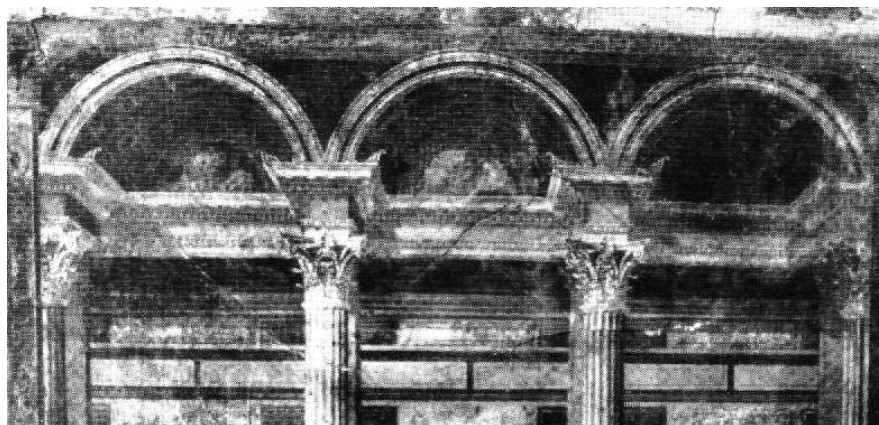


Figura 3.19 - Parete di fondo di un'alcova della "Villa dei misteri", da Gioseffi D., *Perspectiva artificialis*

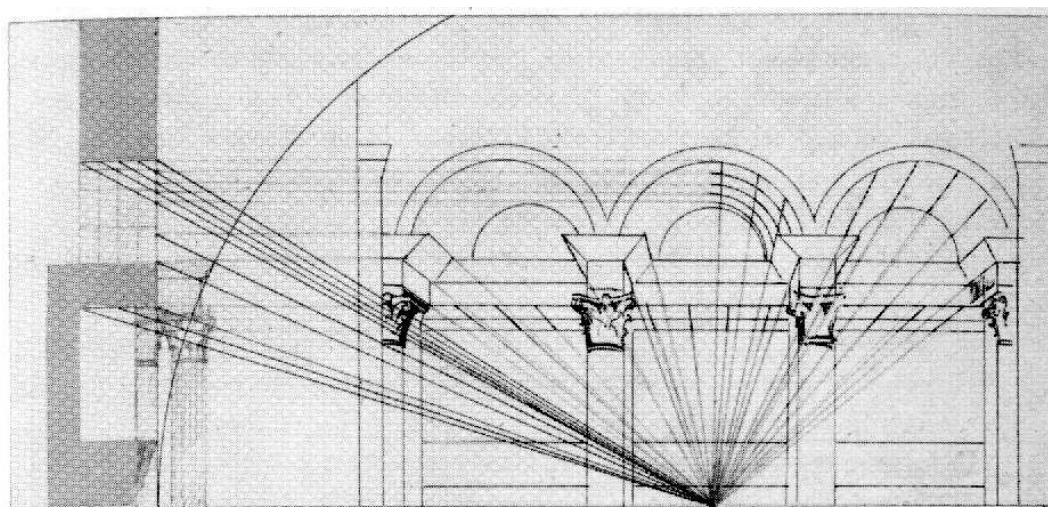


Figura 3.20 - Schema di derivazione teorica della prospettiva della parete di fondo di un'alcova della "Villa dei misteri", da Gioseffi D., *Perspectiva artificialis*

La prospettiva centrale è poi solo una delle possibili applicazioni dell'ottica antica secondo L. Russo, il quale inoltre sottolinea come, analogamente alle soluzioni prospettiche del periodo ellenistico, anche le tecniche degli architetti e degli scultori greci, di

cui Gemino ha lasciato una descrizione completa, furono abbandonate nei tempi successivi e riprese solo in età moderna, nel XVII secolo.²⁸

28) Russo L., op. cit., pag. 87

Conclusione

Gli studi filosofici, epistemologici e matematici hanno prodotto nel XIX secolo una riflessione sul pensiero euclideo che ha portato alla scoperta che lo scienziato non ha voluto nella sua opera “principe”, gli *Elementi*, affermare una verità assoluta ma proporre un metodo, un modello con cui fondare una teoria matematico-geometrica. A distanza di secoli, gli studiosi hanno tratto così un nuovo insegnamento da questo trattato, peraltro insuperato per rigore e logica, che non solo ha fornito le basi per quella scienza che oggi chiamiamo “matematica”, ma ha influenzato tutto il pensiero filosofico e scientifico divenendo uno dei pilastri della scienza occidentale, archetipo di una conoscenza valida a priori.

L’*Ottica* non ha avuto un analogo percorso nella storia del pensiero; pur costituendo il fondamento di tutta l’ottica geometrica successiva e delle sue applicazioni, non è stata, dai più, considerata una “verità assoluta”. Sia pure a fatica, a motivo del rispetto per il pensiero logico e rigoroso dello scienziato, gli studiosi hanno contestato i presunti concetti “materiali” espressi da Euclide, in quanto questi erano empiricamente verificabili erronei. Pochi furono coloro che, costretti dalla sua autorità, seguirono ciecamente le idee erroneamente attribuite allo Stichiote. Essendo incompreso il concetto di modello teorico ed ignorate le conoscenze oftalmiche sottintese, furono incompresi l’applicazione del modello matematico degli *Elementi* al processo fisiologico visivo, l’astrazione e la restrizione semantica dei termini e le regole di corrispondenza fra gli enti della teoria e gli oggetti concreti. Le conseguenti errate interpretazioni, manomissioni ed interpolazioni, nonché gli errori dovuti alle trascrizioni, si sono protratti a tutto il Novecento.

L’ottica geometrica euclidea, nonostante ciò, per l’inalterata validità, è stata inserita, immutata, nella scienza ottica moderna. Quella sviluppata da Euclide è una teoria geniale, ideata da uno scienziato il quale, con gli *Elementi*, ha raggiunto e mantenuto l’apice

del pensiero astratto logico-matematico e l'ha applicato allo studio dell'ottica, pienamente consapevole del fatto che la cultura è un prodotto creato dall'uomo, uno scienziato che è stato uno dei principali fondatori del metodo scientifico che, recuperato nel Rinascimento, è proprio della scienza moderna.

Alla fine del XIX secolo si ripresenta, in forma diversa ma sempre uguale, il problema del valore dell'attività conoscitiva umana, riflettendo sul quale Euclide aveva applicato principi matematici al fenomeno visivo e scritto l'*Ottica*: vengono ideati sistemi geometrici alternativi a quello euclideo, viene rifiutato il meccanicismo del positivismo ottocentesco, che riteneva che la scienza dovesse scoprire ipotetiche strutture ultime e definitive della realtà, ed il modello scientifico diviene quello della fisica relativistica. Si giunge nuovamente a pensare che i concetti e le leggi scientifiche non abbiano valore assoluto ma rispondano all'esigenza di classificare la varietà dei fenomeni dell'esperienza attraverso segni convenzionali per poter poi fare verifiche sperimentali.

Al fine di comprendere l'autentico significato delle leggi scientifiche, Ernst Mach, il fondatore dell'empiriocriticismo, dopo studi di meccanica, acustica, elettrologia, ottica, termodinamica, idrodinamica e psicologia della percezione, nel suo trattato *La meccanica nel suo sviluppo storico critico* del 1883, affronta infine il problema dal punto di vista storico critico.

Per capire la scienza, conclude, occorre conoscerne la storia, sapere come essa è venuta formandosi e strutturandosi.

Lo studio della storia delle scienze, soprattutto della storia della fisica, mostra come la scienza non abbia avuto un percorso lineare, come vi siano stati mutamenti, progressi e regressi, evoluzioni ed involuzioni e come non possano essere considerate verità eterne sottratte al corso del tempo le teorizzazioni e le affermazioni con le quali è venuto costruendosi l'edificio della scienza moderna.

Con questo lavoro si è cercato di dare un contributo alla ricerca storica mostrando come il trattato euclideo appartenga alla scienza moderna, la cui nascita va dunque retrodatata al III secolo a.C., in quanto l'*Ottica* non si limita a fornire descrizioni geometriche di fenomeni naturali ma crea modelli utili per altre teorie scientifiche, trova soluzioni ai problemi e genera strumenti per applicazioni tecnologiche.

Lo studio del percorso storico dell'opera conferma poi come la scienza non sia caratterizzata da un progresso costante, continuo e aprioristico e rende evidente come la scienza sia un prodotto della cultura umana condizionato dalla storia economica, sociale e culturale del periodo di riferimento.

La conoscenza della verità storica dello sviluppo della scienza distrugge il mito pericoloso e radicato delle “gloriose sorti e progressive”, ancor oggi diffuso nella cultura dai mass media, e richiama alle responsabilità morali e civili della scienza e della tecnica e dunque, assodato che la conoscenza scientifica non è una realtà disincarnata e avulsa dalla storia, in grado di sussistere a prescindere dalla situazione storica, filosofica e culturale, è evidente che la conoscenza storica non è un'opzione possibile ma trascurabile, è invece una condizione fondante per conoscere il passato, comprendere il presente e quindi progettare il futuro.

Poiché la conoscenza dello svolgimento della scienza dipende dallo studio e dalla comprensione degli scritti scientifici nella loro successione storica, è importante il recupero, fra gli altri, dei testi della scienza ellenistica pervenuti e delle testimonianze relative ad essi perché sono studi basilari e primari. Fra questi vi è il trattato di ottica di Euclide.

Se ogni generazione di studiosi e ricercatori dovesse rinunciare al patrimonio di conoscenze accumulato dalle generazioni precedenti, davvero la scienza non potrebbe progredire.

Conclusioni

D'altra parte si ritiene oggi che l'importanza di uno scienziato sia valutabile anche in base alla novità dell'uso che egli fa dei concetti antichi perché qualunque legge scientifica è modellata su ciò che è stato osservato in passato e deve sempre venire corretta in base a ciò che è osservato al presente o sarà osservato in futuro, dato che nessuna teoria scientifica può essere sottratta al controllo dell'esperienza.

Mentre sino a ieri si è ritenuto che il risultato al quale la scienza debba tendere sia ottenere conoscenze evidenti, assolute, immutabili e perennemente valide, si ritiene ora che le "verità scientifiche" possano essere modificate, corrette e, in caso di necessità, abbandonate.

Nel corso dei secoli il problema dell'uso da parte degli studiosi delle teorie dell'*Ottica* è sempre stato quello di avvalersi di tale studio e delle sue applicazioni tralasciando gli "errori" concettuali che vi riscontravano e che non le erano propri.

Ristabilite le concezioni scientifiche e gnoseologiche sottintese, si ha conferma, prendendo in esame l'*Ottica* e la sua storia, dell'importanza della matematica unita al metodo sperimentale per la conoscenza della realtà: le leggi scientifiche ed i concetti che vi sono espressi non hanno, come si è detto, valore oggettivo assoluto ma sono utili a classificare la varietà dell'esperienza con un numero, il più ristretto possibile, di segni convenzionali; le teorie scientifiche formulate non rispecchiano la natura delle cose, ma sono strumenti pragmatici per organizzare nel modo più economico la molteplicità dei dati; sono formule riassuntive dell'esperienza, praticamente utili per orientarsi rapidamente nel mondo dell'accadere. La matematica si dimostra perciò la scienza utile per eccellenza per ragionare sulla realtà.

Nel XIX e XX secolo idee analoghe vengono espresse da Mach quando afferma che le leggi scientifiche sono un metodo di ricostruzione conciso e riassuntivo dei fenomeni e dell'esperienza, espressi in termini di funzioni matematiche.

Conclusione

L'esperienza, espressa da Euclide, nell'*Ottica*, in termini matematici e geometrici, è un fatto di relazione tra oggetto e soggetto e tiene conto perciò della struttura e della funzionalità del senso della vista. Non vi è distinzione in tale esperienza fra il fenomeno fisico e quello psichico, la matematica è usata per teorizzare un processo fisiologico in rapporto con il mondo esterno perché questa relazione è alla base della conoscenza umana, è la relazione originaria fra l'organismo e l'ambiente.

L'*Ottica* si dimostra ancora una possibile e valida risposta al problema della verifica delle forme e dei limiti dell'attività conoscitiva umana, una risposta adeguata allo scetticismo scientifico, al ritorno dell'idea dell'inconoscibilità del reale che è riemersa, ad esempio, alla fine del XIX secolo.

Una riflessione poi sulla situazione storica, economica, sociale e culturale dell'epoca in cui fu concepita e scritta l'*Ottica* e sulle ragioni della crisi della civiltà ellenistica consente di trarre altre indicazioni per il presente.

Nel III secolo a.C., che Rostovtzeff non per nulla definisce "il secolo d'oro", si godeva di una relativa pace politica e militare, vi era prosperità economica, prodigo finanziamento pubblico degli studi, che, pur collegati a ragioni pratiche, non erano evidentemente condizionati a problemi strettamente produttivi, e vivissima collaborazione scientifica fra le diverse discipline: sono evidentemente tutte condizioni auspicabili, per il progresso scientifico e non solo.

La riflessione sulla crisi della civiltà e della scienza ellenistica, sulla conseguente perdita della memoria storica di quest'epoca e la constatazione delle conseguenze che tale perdita ha avuto nella storia della scienza, non solo pone in evidenza la necessità di uno studio storico critico per ricostruire il pensiero filosofico scientifico di questa civiltà e per conoscere i prodotti che ha generato, ma stimola a

progettare consapevolmente la salvaguardia dei risultati raggiunti perché, se una ragionevole fiducia nella scienza è presupposto indispensabile della ricerca, la vicenda storica ellenistica mostra come spetti all'uomo porre in atto le strategie che consentano di non smarrire le conoscenze acquisite, in quanto utili per costruire un futuro in cui il sapere scientifico si accresca anziché regredire.

Poiché la scienza è uno degli aspetti più importanti della cultura umana ed è un fattore determinante nel mondo, lo studio della sua storia potrebbe poi essere utilmente introdotta negli studi scolastici accanto allo studio della storia politica, sociale, militare, religiosa, economica e della cultura.

Si può anche considerare come l'esiguità del numero di coloro che partecipavano della cultura e della scienza ellenistica abbia costituito un fattore determinante per la sua scomparsa; l'odierna conquista dell'istruzione per tutti non è un vantaggio definitivo, va difesa dal rischio che si riduca ad un'istruzione di massa, povera di rigore logico, di spirito critico e di strumenti che permettono di conservare la nostra eredità culturale.

È interessante notare poi come in epoca ellenistica l'incontro fra le varie civiltà e culture si sia dimostrato un fenomeno positivo e come i greci, nella piena consapevolezza del valore della propria cultura, abbiano saputo organizzare ed utilizzare le conoscenze altrui, realizzando un arricchimento reciproco.

L'*Ottica*, prodotto che presuppone comunque le doti di genialità personale e la cultura straordinaria e poliedrica del suo autore, che non ha avuto uguali per creatività, originalità di metodo, potenza e rigore di pensiero, è frutto di una particolare civiltà ed epoca storica. Si può dubitare che non siano ancora state compiutamente comprese tutte le implicazioni del pensiero di questo scienziato come di altri suoi contemporanei.

Sarebbe opportuno sostituire all'ammirazione ed allo stupore un poco condiscendente per questo scienziato e per la sua epoca lontana

un desiderio di conoscenza che potrebbe ancora portare risultati per il presente.

Uno degli aspetti principali della rivoluzione scientifica ellenistica fu la consapevolezza che l'uomo è creatore della propria cultura. Con questa consapevolezza, sapendo che l'ottica è già stata oggetto di studio per matematici, fisici, medici, ingegneri, architetti, artisti, ottici e artigiani, si può trarre dallo studio del trattato euclideo l'idea di approfondire lo studio dell'aspetto meno esplorato del fenomeno visivo, quello psichico.

Già nel III secolo a.C. la teoria della conoscenza e della percezione era connessa con la psiche, che allora veniva identificata con il sistema nervoso scoperto da Erofilo.

Nel XX secolo il processo della visione è suddiviso, nella sua complessità, in una fase fisica, una fisiologica ed una psicologica. Si afferma oggi che il mondo fisico, percorso dalla radiazione, è nero e buio, privo di luce e di colore, che sono entità assolutamente soggettive; si sa che le radiazioni provocano impulsi nervosi che vanno dall'occhio al cervello, il quale li elabora e crea con altri elementi, quali la memoria e l'immaginazione, i "fantasmi", cioè le figure luminose e colorate con cui popola lo spazio intorno a se.

La fase psicologica del processo visivo è ulteriormente esplorabile per meglio comprendere il fenomeno della visione e dare un contributo all'ampliamento ed al perfezionamento di una scienza che ha avuto il suo inizio con l'opera di Erofilo e di Euclide.

Allegato A:

Testo greco delle premesse dell'Euclidis Optica
dall'Euclidis Opera Omnia di I. L. Heiberg

Ὅροι.

1. Ὑποκείσθω τὰς ἀπὸ τοῦ ὀμματος ἐξαγομένης
εὐθείας γραμμὰς φέρεσθαι διάστημα μεγεθῶν μεγάλων.

2. καὶ τὸ [μὲν] ὑπὸ τῶν ὄψεων περιεχόμενον σχῆμα
5 εἶναι κῶνον τὴν κορυφήν μὲν ἔχοντα ἐν τῷ ὀμματι τὴν
δὲ βάσιν πρὸς τοῖς πέρασι τῶν ὁρωμένων.

3. καὶ ὁρᾶσθαι μὲν ταῦτα, πρὸς ἃ ἂν αἱ ὄψεις
προσπίπτωσι, μὴ ὁρᾶσθαι δέ, πρὸς ἃ ἂν μὴ προσ-
πίπτωσιν αἱ ὄψεις.

10 4. καὶ τὰ μὲν ὑπὸ μείζονος γωνίας ὁρώμενα μεί-
ζονα φαίνεσθαι, τὰ δὲ ὑπὸ ἐλάττονος ἐλάττονα, ἴσα δὲ
τὰ ὑπὸ ἴσων γωνιῶν ὁρώμενα.

5. καὶ τὰ μὲν ὑπὸ μετεωροτέρων ἀκτίνων ὁρώμενα
μετεωρότερα φαίνεσθαι, τὰ δὲ ὑπὸ ταπεινοτέρων τα-
15 πεινότερα.

6. καὶ ὁμοίως τὰ μὲν ὑπὸ δεξιωτέρων ἀκτίνων
ὁρώμενα δεξιώτερα φαίνεσθαι, τὰ δὲ ὑπὸ ἀριστερωτέ-
ρων ἀριστερώτερα.

7. τὰ δὲ ὑπὸ πλειόνων γωνιῶν ὁρώμενα ἀκριβέστε-
20 ρον φαίνεσθαι.

Allegato B:

Testo greco delle premesse

dell'Opticorum Recensio Theonis

dall'Euclidis Opera Omnia di I. L. Heiberg

Ὅροι.

5 α'. Ὑποκείσθω τὰς ἀπὸ τοῦ ὀμματος ὄψεις κατ' εὐθείας γραμμὰς φέρεσθαι διάστημα τι ποιούσας ἀπ' ἀλλήλων.

β'. καὶ τὸ μὲν ὑπὸ τῶν ὄψεων περιεχόμενον σχῆμα εἶναι κῶνον τὴν κορυφήν μὲν ἔχοντα πρὸς τῷ ὀμματι, τὴν δὲ βάσιν πρὸς τοῖς πέρασι τῶν ὀρωμένων.

10 γ'. καὶ ὀρᾶσθαι μὲν ταῦτα, πρὸς ἃ ἂν αἱ ὄψεις προσπίπτωσιν, μὴ ὀρᾶσθαι δέ, πρὸς ἃ ἂν μὴ προσπίπτωσιν αἱ ὄψεις.

δ'. καὶ τὰ μὲν ὑπὸ μείζονος γωνίας ὀρώμενα μείζονα φαίνεσθαι, τὰ δὲ ὑπὸ ἐλάσσονος ἐλάσσονα, ἴσα δὲ
15 τὰ ὑπὸ ἴσων γωνιῶν ὀρώμενα.

ε'. καὶ τὰ μὲν ὑπὸ μετεωροτέρων ἀκτίνων ὀρώμενα μετεωρότερα φαίνεσθαι, τὰ δὲ ὑπὸ ταπεινοτέρων ταπεινότερα.

ς'. καὶ ὁμοίως τὰ μὲν ὑπὸ δεξιωτέρων ἀκτίνων
20 ὀρώμενα δεξιώτερα φαίνεσθαι, τὰ δὲ ὑπὸ ἀριστερωτέρων ἀριστερώτερα.

ζ'. τὰ δὲ ὑπὸ πλειόνων γωνιῶν ὀρώμενα ἀκριβέστερον φαίνεσθαι.

Allegato C:

Premesse dalla traduzione di P. Ver Eecke

dell'*Euclidis Optica* di I. L. Heiberg

EUCLIDE

L'OPTIQUE

DÉFINITIONS (¹)

I. Supposons que les lignes droites qui émanent de l'œil se propagent à divergence des grandes grandeurs (²).

II. Et que la figure comprise sous les rayons visuels est un cône ayant son sommet dans l'œil, et sa base aux limites des grandeurs regardées.

III. Et que les grandeurs sur lesquelles tombent les rayons visuels sont vues; tandis que celles sur lesquelles les rayons visuels ne tombent pas ne sont pas vues.

IV. Et que les grandeurs vues sous un plus grand angle apparaissent plus grandes; tandis que celles qui sont vues sous un plus petit angle apparaissent plus petites, et que celles qui sont vues sous des angles égaux apparaissent égales.

V. Et que les grandeurs vues sous des rayons plus relevés apparaissent plus élevées; tandis que celles qui sont vues sous des rayons plus abaissés apparaissent plus basses.

VI. Et que pareillement, les grandeurs vues sous des rayons plus à droite apparaissent plus à droite; tandis que celles qui sont vues sous des rayons plus à gauche apparaissent plus à gauche.

VII. Enfin, que les grandeurs vues sous des angles plus nombreux apparaissent plus distinctement.

Allegato D:
Premesse dalla traduzione di P. Ver Eecke
dell'*Opticorum Recensio Theonis* di I. L. Heiberg

DÉFINITIONS

I. Supposons que les rayons visuels émanés de l'œil se propagent suivant des lignes droites faisant quelque divergence entre elles.

II. Et que la figure comprise sous les rayons visuels est un cône ayant son sommet à l'œil ⁽¹⁾ et sa base sur les limites des grandeurs regardées.

III. Et que les grandeurs sur lesquelles les rayons visuels tombent sont vues ; tandis que celles sur lesquelles les rayons visuels ne tombent pas ne sont pas vues.

IV. Et que les grandeurs vues sous un plus grand angle apparaissent plus grandes ; tandis que celles qui sont vues sous un plus petit angle apparaissent plus petites, et que celles qui sont vues sous des angles égaux apparaissent égales.

V. Et que les grandeurs vues sous des rayons plus élevés apparaissent plus élevées ; tandis que celles qui sont vues sous des rayons plus abaissées apparaissent plus basses.

VI. Et que, pareillement, les grandeurs vues sous des rayons plus à droite apparaissent plus à droite ; tandis que celles qui sont vues sous des rayons plus à gauche apparaissent plus à gauche.

VII. Enfin, que les grandeurs vues sous des angles plus nombreux ⁽²⁾ apparaissent plus distinctes.

Allegato E:
Teoremi dell'Optica
dalla pubblicazione di G. Ovio

I. Un oggetto non può vedersi nella sua totalità d'un solo colpo d'occhio.

II. Di oggetti eguali, differentemente distanti, i più vicini si discernono più chiaramente.

III. Per qualunque oggetto vi è una determinata distanza oltrepassata la quale esso non si vede più.

IV. Di uguali lunghezze, considerate su una medesima retta, quelle che si vedono a una distanza maggiore appaiono minori.

V. Oggetti uguali, inegualmente distanti, appaiono ineguali, e sempre maggiore quello più vicino all'occhio.

VI. Rette parallele viste in distanza, non appaiono parallele.

VII. Oggetti uguali posti su una stessa retta ma distanti fra loro appaiono ineguali.

VIII. Oggetti uguali, inegualmente distanti dall'occhio non conservano la stessa ragione cogli angoli e colle distanze.

IX. Oggetti rettangolari, guardati da lontano, appaiono circolari.

X. In piani sottostanti all'occhio gli oggetti più distanti appaiono più alti.

XI. In piani sovrastanti all'occhio gli oggetti più distanti appaiono più bassi.

XII. Oggetti che stanno sui punti più lontani di rette parallele distese dinnanzi all'occhio, se posti a destra sembrano inclinare verso sinistra se a sinistra sembrano inclinare verso destra.

XIII. Di più oggetti egualmente grandi e posti più bassi dell'occhio, i più distanti sembrano più alti.

XIV. Di più oggetti egualmente grandi e posti più alti dell'occhio, i più distanti appaiono più bassi.

XV. Di due oggetti posti in basso, e dei quali uno superi l'altro, l'occhio che si accosta vede l'eccesso del maggiore sul minore più grande che l'occhio che si allontana.

XVI. Di due oggetti posti in alto, e dei quali uno superi l'altro, l'occhio che si accosta vede l'eccesso del maggiore sul minore più piccolo che l'occhio che si allontana.

XVII. Di due oggetti di cui uno superi l'altro, se il raggio emanato dall'occhio è perpendicolare al minore sul suo punto estremo, sembrerà che il maggiore ecceda il minore sempre della stessa quantità, sia che l'occhio si accosti, sia che l'occhio si allontani.

XVIII. Data un'altezza, conoscere quale sia.

XIX. Data un'altezza, conoscere quale sia, senza impiegare il sole.

XX. Data una profondità, conoscere quale sia.

XXI. Data una lunghezza, conoscere quale sia.

XXII. Una circonferenza descritta sullo stesso piano nel quale è l'occhio, apparisce come una linea retta.

XXIII. In qualunque modo si guardi una sfera con un occhio solo sempre se ne vede meno di metà; e la parte che se ne vede, apparisce compresa in un cerchio.

XXIV. Un occhio che si metta vicino ad una sfera ne vede una porzione minore di un occhio che si mette lontano, ma ha l'impressione che la porzione veduta sia maggiore.

XXV. La sfera guardata da lontano, apparisce come un circolo.

XXVI. Guardando coi due occhi una sfera che abbia un diametro uguale alla retta che li congiunge, se ne vedrà una metà.

XXVII. Guardando coi due occhi una sfera che abbia un diametro inferiore all'intervallo che li separa, se ne vedrà più che una metà.

XXVIII. Guardando coi due occhi una sfera che abbia un diametro superiore all'intervallo che li separa, se ne vedrà meno che una metà.

XXIX. Guardando un cilindro con un unico occhio, se ne vede sempre meno della metà.

XXX. La parte della superficie di un cilindro, che l'occhio, posto da vicino, vede, è minore di quella che vede, posto da lontano, ma viene giudicata maggiore.

XXXI. Guardando con un occhio solo un cono a base circolare, se ne vede meno della metà.

XXXII. L'occhio, che rimanendo sempre sullo stesso piano, s'accosta ad un cono, ne vede una porzione minore che l'occhio che se ne allontana, ma questa porzione si giudica maggiore.

XXXIII. Se sulla base circolare di un cono arrivano i raggi emanati dall'occhio, posto nello stesso piano della base, e dal punto di contatto si conducono due rette sulla superficie del cono fino a toccarne il vertice, e per queste rette e pei raggi si fanno passare due piani, e l'occhio conservando la primitiva direzione, scorre sulla comune sezione di questi due piani, la parte del cono veduta apparirà sempre uguale.

XXXIV. Se l'occhio si muove lungo una retta equidistante dalla superficie di un cono, ne vede una porzione maggiore quando è in alto, ma gli sembra minore; ne vede una porzione minore quando è in basso, ma gli sembra maggiore.

XXXV. Se nel circolo si innalza dal centro una perpendicolare, all'occhio posto su un punto di essa, i diametri del circolo appaiono eguali.

XXXVI. Dato un circolo, all'occhio posto all'estremità di una retta elevata dal centro ed inclinata sul piano, ed eguale al mezzo diametro, i diametri del circolo appariranno eguali.

XXXVII. Dato un circolo, all'occhio posto all'estremità di una retta innalzata dal centro ed inclinata, e non eguale al raggio, i diametri che con questa retta fanno angoli eguali, appaiono eguali, quelli che non fanno angoli eguali, appaiono ineguali.

XXXVIII. Nel circolo, se il raggio che parte dall'occhio e va obliquamente al centro, facendo angoli ineguali con diversi diametri, è

maggiore del semidiametro, questi diametri appariranno ineguali, e maggiore di tutti quello che fa angoli retti col raggio che va all'occhio.

XXXIX. Se il raggio diretto come prima, è minore del mezzo diametro invece che maggiore, avviene pei diametri l'inverso: quello che prima appariva maggiore, appare ora minore, quello che minore, maggiore.

XL. Le ruote di un carro, ora appaiono circolari, ora allungate.

XLI. Se l'altezza è perpendicolare al sottoposto piano, e l'occhio si trovi in un punto qualunque del piano, e l'altezza vi giri attorno come attorno al centro di un cerchio, quest'altezza apparirà sempre eguale.

XLII. Se un'altezza è perpendicolare al piano sottoposto, e l'occhio gira attorno alla circonferenza di un circolo il cui centro sia il punto di contatto dell'altezza col piano, l'altezza guardata apparirà sempre eguale.

XLIII. Se l'occhio è posto al centro del circolo, un'altezza che non sia perpendicolare sul piano del circolo, che giri attorno alla circonferenza, apparirà sempre ineguale.

XLIV. Vi sono posizioni nelle quali l'oggetto in movimento, all'occhio immobile apparisce sempre eguale.

XLV. Vi sono posizioni nelle quali l'oggetto immobile, all'occhio in movimento, apparisce sempre eguale.

XLVI. Vi sono posizioni nelle quali l'oggetto immobile, all'occhio in movimento, apparisce ora maggiore ora minore.

XLVII. Lo stesso accade se l'occhio si muove lungo una linea parallela all'oggetto.

XLVIII. Vi può essere un punto dal quale due grandezze eguali appaiono disuguali.

XLIX. Si può trovare un punto dal quale due grandezze ineguali appaiono eguali.

L. Si danno dei punti da cui guardando una grandezza formata da due grandezze ineguali, quella e ciascuna di queste due, appaiono eguali.

LI. Si danno dei punti dai quali guardando grandezze eguali perpendicolari sul sottoposto piano, queste appaiono eguali; altri, dai quali le stesse grandezze appaiono ineguali.

LII. Trovare i punti da cui una stessa grandezza appaia la metà o un quarto, e in generale in proporzione alla suddivisione dell'angolo.

LIII. Di più oggetti, terminati ad una stessa retta, e mossi con eguale velocità, il più lontano sembra precedere gli altri, finché si vengono ad accostare alla direzione dell'occhio, ma una volta che hanno oltrepassata questa direzione, il più lontano sembra rimanere indietro, ed è il più vicino che sembra precedere gli altri.

LIV. Di oggetti che si muovono con diversa velocità nello stesso senso in cui si muove l'occhio, quelli che si muovono colla stessa velocità dell'occhio sembrano immoti; quelli che si muovono più lentamente, sembrano mossi in senso contrario; quelli che si muovono più rapidamente sembrano muoversi nello stesso senso.

LV. Se più oggetti si muovono nello stesso senso ed uno sta fermo, questo sembrerà muoversi in senso contrario.

LVI. All'occhio che si accosta ad un oggetto può sembrare che questo ingrandisca.

LVII. Di oggetti, mossi con una certa velocità, quelli più distanti sembrano muoversi più lentamente.

LVIII. Muovendo l'occhio rapidamente, gli oggetti più distanti sembrano rimanere indietro.

LIX. Gli oggetti ingranditi sembrano più vicini.

LX. Oggetti inegualmente distanti dall'occhio, i cui punti estremi non sono paralleli ai punti estremi, né i medi ai medi, né sono in linea retta, formano una figura ora concava ora convessa.

LXI. Se sul punto d'inserzione dei diametri di un quadrato, si innalza una perpendicolare al piano del quadrato, e su di essa si pone l'occhio, i diametri del quadrato, e parimenti i lati, appariranno eguali.

LXII. Se il raggio condotto dall'occhio sul punto d'intersezione dei diametri di un quadrato non è perpendicolare sul piano di questo, né è

Allegati

eguale ad un mezzo diametro, né fa angoli eguali con questi mezzi diametri, i diametri del quadrato appariranno ineguali.

Allegato F:
Teoremi dalla traduzione di F. Incardona
dell'*Euclidis Optica* di I. L. Heiberg

1. Nessuna delle cose viste è vista tutta insieme.
2. Tra grandezze uguali distanziate fra loro quelle più vicine sono viste con migliore risoluzione
3. Per ciascuna delle cose visibili esiste una distanza longitudinale [dall'occhio] alla quale non la si vede più.
4. Tra intervalli uguali e giacenti sullo stesso segmento rettilineo quelli visti da distanza più grande appaiono più piccoli.
5. Grandezze uguali poste a distanze diverse appaiono diverse, e più grande sempre quella che sta più vicino all'occhio.
6. Segmenti paralleli visti da lontano appaiono non paralleli.
7. Grandezze uguali che siano sullo stesso segmento rettilineo non adiacenti e poste a distanze diverse dall'occhio appaiono disuguali.
8. Grandezze uguali e parallele poste a distanze diverse dall'occhio non vengono viste in modo proporzionale alle distanze.
9. Le grandezze rettangolari viste da lontano appaiono arrotondate.
10. Tra i piani che giacciono sotto l'occhio quelli [più] lontani appaiono più in alto.
11. Tra i piani che stanno sopra l'occhio i [più] lontani appaiono più in basso.
12. Tra i [segmenti] che si estendono davanti [all'occhio], quelli a destra sembrano deviare verso sinistra, quelli a sinistra verso destra.
13. Tra grandezze uguali poste sotto l'occhio quelle [più] lontane appaiono più in alto.
14. Tra grandezze uguali e poste sopra l'occhio quelle [più] lontane appaiono più in basso.

15. Di qualsiasi quantità differiscano l'una con l'altra [due grandezze] poste sotto l'occhio, avvicinandosi l'occhio la più grande appare eccedere sempre di più, allontanandosi sempre di meno.
16. Di qualsiasi quantità si superino l'una con l'altra grandezze disuguali [poste] sopra l'occhio, avvicinandosi l'occhio la più grande appare eccedere sempre di meno, allontanandosi sempre di più.
17. Di qualsiasi quantità si superino l'una con l'altra [due grandezze], quella che eccede sembra superare la minore sempre della stessa quantità, se l'occhio si avvicina e si allontana in linea retta con la grandezza minore.
18. Sapere quanto è grande un'altezza data, quando c'è sole.
19. Sapere quanto è grande un'altezza data, quando non c'è sole.
20. Sapere quanto è grande una data profondità.
21. Sapere quanto è grande una lunghezza data.
22. Se un arco di circonferenza è posto nello stesso piano in cui è l'occhio, l'arco di circonferenza appare un segmento rettilineo.
23. Di una sfera vista in qualunque modo da un solo occhio appare sempre meno di un emisfero, e questa parte vista della sfera appare come una circonferenza di cerchio.
24. Avvicinandosi l'occhio alla sfera la parte vista sarà più piccola, ma più grande sembrerà di vederla.
25. Quando una sfera viene vista da due occhi, se il diametro della sfera è uguale alla distanza fra gli occhi, ne verrà visto l'emisfero tutto.
26. Se la distanza fra gli occhi è maggiore del diametro della sfera, verrà visto più di un emisfero della sfera.
27. Se la distanza tra gli occhi è minore del diametro della sfera, verrà visto meno di un emisfero.
28. Di un cilindro visto in qualunque modo da un solo occhio si vedrà meno di un semicilindro.

29. Ponendo l'occhio più vicino al cilindro la parte di cilindro compresa tra i raggi è minore, ma più grande sembrerà di vederla.
30. Di un cono avente la base circolare e l'asse ad essa perpendicolare visto con un [solo] occhio si vedrà meno di un semicono.
31. Ponendo l'occhio più vicino [al cono], nello stesso piano nel quale è la base del cono, la parte compresa tra i raggi visuali sarà più piccola, ma più grande sembrerà di vederla.
32. Se dall'occhio alla base del cono incidono dei raggi e se dai punti di contatto dei raggi incidenti e tangenti sono tracciati dei segmenti rettilinei lungo la superficie del cono fino al vertice di questo; se si producono i piani [passanti] per i [segmenti] tracciati e per i [raggi] incidenti dall'occhio alla base del cono, e se l'occhio è posto sulla congiunzione di questi, cioè sulla sezione comune dei piani, la parte vista del cono verrà vista sempre uguale, se i raggi visuali appartengono ad un piano parallelo al piano della base del cono.
33. Spostando invece l'occhio dal basso collocandolo più in alto la parte di cono vista sarà maggiore, ma sembrerà apparire minore, mentre [collocandolo] più in basso sarà minore, ma sembrerà apparire maggiore.
34. Se un segmento rettilineo viene alzato dal centro di un cerchio perpendicolarmente al piano del cerchio, e su di esso viene collocato l'occhio, i diametri tracciati nel piano del cerchio appariranno tutti uguali. E se il [segmento rettilineo] tracciato dal centro non è perpendicolare al piano, ma è uguale al semidiametro, i diametri appariranno tutti uguali.
35. Se invece il [segmento rettilineo] incidente dall'occhio al centro del cerchio non è perpendicolare al piano del cerchio né è uguale al semidiametro né forma [con i diametri] angoli uguali, appaiono diversi i diametri sui quali fa angoli diversi.

36. Le ruote dei carri alle volte appaiono circolari, alle volte oblunghe.
37. Vi è un luogo nel quale, stando fermo l'occhio, e muovendosi la cosa vista, la cosa vista appare sempre uguale.
38. Vi è un luogo nel quale spostandosi l'occhio, e restando ferma la cosa vista, la cosa vista appare sempre uguale.
39. Se una grandezza è perpendicolare ad un piano sottostante, [se] l'occhio sta in un qualche punto del piano e la cosa vista si sposta sulla circonferenza di un cerchio avente l'occhio come centro, la cosa vista viene vista sempre uguale, spostandosi in posizione parallela a quella iniziale.
40. Se invece la cosa vista non è perpendicolare al piano sottostante, e si sposta su una circonferenza di cerchio, essendo uguale al semidiametro, a volte viene vista uguale a se stessa, a volte diversa, spostandosi in posizione parallela a quella iniziale.
41. Se la cosa vista è perpendicolare al piano sottostante, e l'occhio si muove sulla circonferenza di un cerchio che ha [come] centro il punto nel quale la grandezza si congiunge al piano, la cosa vista apparirà sempre uguale.
42. Restando ferma la cosa vista e spostandosi l'occhio su di una linea che sia sghemba rispetto alla grandezza osservata, la cosa vista appare a volte uguale a volte diversa.
43. Lo stesso accade anche se il segmento rettilineo [su cui si muove l'occhio] è parallelo alla grandezza osservata.
44. Vi sono luoghi tali che, spostandovisi l'occhio, grandezze uguali ed occupanti luoghi contigui a volte appaiono uguali, a volte diverse.
45. Vi è un luogo comune dal quale grandezze diverse appaiono uguali.
46. Vi sono luoghi sui quali spostandosi l'occhio, grandezze uguali e poste perpendicolarmente al piano sottostante appaiono a volte uguale, a volte diverse.

47. Vi sono alcuni luoghi, nei quali stando l'occhio grandezze diseguali combinate in una stessa appariranno uguali a ciascuna delle diseguali.
48. Trovare dei luoghi, dai quali una grandezza uguale appare metà o una quarta parte o in generale nel rapporto in cui anche l'angolo è diviso.
49. Sia AB una grandezza vista. Dico che vi sono per AB dei luoghi, ponendo l'occhio nei quali, essa appare a volte metà, a volte intera, a volte un quarto e in generale nel rapporto dato.
50. Quando cose che si muovono ad uguale velocità e che hanno le estremità dallo stesso lato su di uno stesso segmento rettilineo ad esse perpendicolare, si avvicinano al [segmento] tracciato per l'occhio e parallelo al segmento rettilineo detto prima, la più lontana dall'occhio sembra superare la più vicina; quando si allontanano, invece, quella che precedeva [sembra] seguire, quella che seguiva precedere.
51. Di numerose grandezze che si muovono con diversa velocità, se anche l'occhio si muove nella stessa [direzione], quelle che si muovono alla stessa velocità dell'occhio sembrano star ferme, quelle più lente [sembrano] muoversi in senso contrario, quelle più veloci in avanti.
52. Se tra alcune cose che si muovono se ne mostra una che non si muove, quella che non si muove sembra muoversi all'indietro.
53. Quando l'occhio si porta più vicino alla cosa vista, sembra che la cosa vista divenga più grande.
54. Tra le cose che si muovono con la stessa velocità le più lontane sembrano muoversi più lentamente.
55. Stando fermo l'occhio e muovendosi gli sguardi, le più lontane delle cose viste sembrano essere lasciate indietro.
56. Tra le grandezze quelle che si accrescono sembrano avvicinarsi all'occhio.

57. Quante [grandezze] giacciono alla stessa distanza [ma] non hanno gli estremi allineati nel mezzo, fanno l'intera figura alle volte concava, alle volte convessa.
58. Se una linea viene tracciata a partire dalla congiunzione delle diagonali di un quadrato perpendicolarmente ad esse, e su questa è posto l'occhio, i lati del quadrato appariranno uguali ed anche le diagonali appariranno uguali

Bibliografia

1. Euclide, *Gli Elementi*, a cura di Attilio Frajese e Lamberto Maccioni, UTET, Torino, 1970.
2. Geymonat Ludovico, *Storia del pensiero filosofico e scientifico*, Garzanti, Milano, 1973.
3. Gioseffi Decio, *Perspectiva artificialis - Per la storia della prospettiva - Spigolature e appunti*, Istituto di Storia dell'Arte Antica e Moderna, Trieste, 1957.
4. Heath Thomas L., *A History of Greek Mathematics*, Dover (New York), 1981.
5. Heiberg Iohan Ludwig., *Euclidis Optica, Opticorum Recensio Theonis, Catoptrica, cum Scholiis antiquis*, in *Euclidis Opera Omnia – I. L. Heiberg et H. Menge ediderunt – vol. VII*, Teubner, Lipsia, 1895.
6. Folkerts Menso, *Euclid in Medieval Europe*, Winnipeg, The Benjamin catalogue, 1989.
7. Incardona Francesca, *(Euclide) Ottica – Immagini di una teoria della visione*, Di Renzo Editore, Roma, 1996.
8. Leonardo da Vinci, *Pensieri sull'universo*, UTET, Milano, 1952.
9. Mach Ernst, *La meccanica nel suo sviluppo storico critico*, Torino, 1968, traduzione di *Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt*, Brockhaus, Leipzig 1883.
10. Macorini Edgardo, *Enciclopedia della Scienza e della Tecnica*, Mondadori, Milano, 1970.
11. Medaglia Silvio M., Russo Lucio, *Sulla prima "definizione" dell'Ottica di Euclide*, in "Bollettino dei Classici", Accademia dei Lincei, 16 (1995), pp. 41-54.
12. Ovio Giuseppe, *L'Ottica di Euclide*, Ulrico Hoepli, Milano, 1918.
13. Panofsky Erwin, *La prospettiva come "forma simbolica" e altri scritti*, Feltrinelli, Milano, 1997.
14. Ronchi Vasco, *La storia della luce*, Zanichelli, Bologna, 1939.

Bibliografia

15. Ronchi Vasco, *La genesi del mondo apparente*, Leo S. Olschki Editore, Firenze, 1985.
16. Ronchi Vasco, *Critica dei fondamenti dell'Acustica e dell'Ottica*, Roma, 1964.
17. Rostovtzeff Michael I., *Storia economica e sociale del mondo ellenistico*, Firenze, 1966.
18. Russo Lucio, *La Rivoluzione Dimenticata – Il pensiero scientifico greco e la scienza moderna*, Feltrinelli, 1996.
19. Russo Lucio, *Sulla non autenticità delle definizioni degli enti geometrici fondamentali contenute negli Elementi di Euclide*, in “Bollettino dei Classici”, Accademia dei Lincei, 13 (1992), pp. 25-44.
20. Ver Eecke Paul, *Euclide. L'Optique e la Catoptrique*, Desclée de Brouwer, Parigi e Bruges, 1938.
21. Von Staden Heinrich, *Herophilus. The Art of Medicine in Early Alexandria: edition, translation and essays*, Cambridge University Press, Cambridge, 1989