Mauro Arpino

LE IDEE DELL'ASTRONOMIA

come lo studio del cielo ha cambiato il mondo

Nostromics

Le idee dell’astronomia

come lo studio del cielo ha cambiato il mondo

Mauro Arpino

Cover image — Credit: ESO

I edizione (gennaio 2010)

Copyright © 2010 by Mauro Arpino
www.nostromics.com

Quest'opera è distribuita sotto la licenza: Creative Commons Attribuzione-Non commerciale-Non opere derivate (CC-BY-NC-ND) 3.0. Tu sei libero di riprodurre, distribuire, comunicare al pubblico, esporre in pubblico, rappresentare, eseguire e recitare quest'opera. Devi attribuire la paternità dell'opera nei modi indicati dall'autore o da chi ti ha dato l'opera in licenza e in modo tale da non suggerire che essi avallino te o il modo in cui tu usi l'opera. Non puoi usare quest'opera per fini commerciali. Non puoi alterare o trasformare quest'opera, né usarla per crearne un'altra. Il testo integrale della licenza si può trovare all'indirizzo `http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/deed.it`.

"When you can measure what you are speaking about, and express it in numbers, you know something about it; but when you cannot express it in numbers, your knowledge is of a meagre and unsatisfactory kind."

— William Thomson Lord Kelvin,
3 maggio 1883

Indice

Introduzione **5**

1 Cieli arcaici **8**
1 Guardiamoci intorno 8
2 Il fenomeno del Megalitismo 11
3 Il moto diurno del sole 16
4 Il termine *nord* 18
5 Terra piatta (ma cosa fa il sole di notte?) 20
6 La Terra sferica 24
7 Come sappiamo che la Terra è sferica? 25
8 Astronomia Egizia 28
9 Astronomia Babilonese 29

2 Il meccanismo dei moti planetari **32**
1 L'ellenismo 32
2 La Biblioteca di Alessandria 36
3 La misura della terra di Eratostene 36
4 La retrogradazione dei pianeti 41
5 Eliocentrismo? 45
6 La macchina di Antikythera 47
7 Ipparco e la precessione degli equinozi 50
8 La scomparsa del sapere ellenistico 59

3 Tavole planetarie **65**
1 Il tentativo di Boezio 65
2 Astronomia islamica 74
3 L'astronomia nell'Europa latina 81
4 Astronomia indiana 95
5 Manoscritti perduti 100

4 Rivoluzioni **108**
1 Rivoluzione geografica 108
2 La rivoluzione Copernicana 138

Riferimenti bibliografici **152**

www.nostronomics.com

Introduzione

Scrivendo questo libro, *Le idee dell'astronomia*, mi sono proposto di fornire uno strumento che potesse raccogliere tutto quel materiale eterogeneo di cui mi sono servito per le lezioni rivolte ai licei che ho tenuto presso il Planetario di Milano. Molti insegnanti e studenti domandavano come potessero ritrovare gli argomenti trattati, ma mi era difficile indicare un testo che coprisse tutti i temi, invero anche molto distanti tra loro. Spero di essere riuscito nell'intento di raccogliere in una esposizione unitaria quelle fonti.

Perciò, data la genesi di questa opera, io non rivendico alcuna pretesa di originalità se non, parzialmente almeno, per ciò che concerne l'accostamento e la scelta di taluni argomenti. Naturalmente *Le idee dell'astronomia* è rivolto ad un pubblico ben più ampio degli studenti che hanno frequentato le lezioni sotto la volta stellata del Planetario. Chiunque sia minimamente curioso di sapere come l'astronomia ha plasmato il mondo in cui viviamo potrà trovarlo utile.

E' infatti questo il senso del presente volume: non sarebbe stato ragionevole scrivere un ulteriore trattato di astronomia nel senso più tradizionale; gli studenti hanno già i loro libri di testo e il pubblico può reperire opere di ottimo livello; piuttosto questo libro va concepito come una sorta di mappa stradale, che, percorrendo i millenni, ci conduce in un

viaggio attraverso l'immagine dell'universo che le diverse civiltà hanno sviluppato.

Ci sono degli aspetti che non saranno particolarmente approfonditi e questo di nuovo ha a che fare con il tentativo di scrivere qualcosa di complementare a quanto facilmente reperibile. Comunque il *trait d'union* è sempre la ricerca di concetti suggeriti dall'osservazione del cielo che abbiano inciso profondamente sulla storia e sulla cultura, magari selezionati secondo una sensibilità più moderna rispetto a tesi più convenzionali della storiografia.

Una serie di "finestre" hanno lo scopo di approfondire questioni interessanti ma un po' laterali rispetto al tema svolto. Tra queste ci sono alcune etimologie che, sono convinto, oggi debbano essere cercate nelle più remote radici Proto-Indoeuropee, e non più limitate al latino o al greco. Sempre a proposito di questioni linguistiche troverete le parole "sole", "luna" e "terra" a volte con la minuscola e altre con la maiuscola. Ciò è dovuto al significato semanticamente differente in cui è possibile impiegare queste parole. Se "terra" significa "il luogo dove camminiamo" non è da intendere come nome proprio e perciò sarà minuscolo, ed è questo il contesto in cui è usato soprattutto nei primi paragrafi. Infatti Sole, Terra e Luna sono nomi propri quando indicano corpi celesti, ma sarebbero da scrivere in minuscolo al di fuori di un contesto strettamente scientifico. Questa è almeno l'opinione, che ho fatto mia, di Aldo Gabrielli (*Si dice o non si dice?*, Mondadori, 1969).

Questo libro è distribuito con licenza *Creative Commons*. Le licenze di tipo *Creative Commons* permettono a quanti detengono dei diritti di copyright di trasmettere alcuni di questi diritti al pubblico e di conservare gli altri, per mezzo di una varietà di schemi di licenze e di contratti che includono la destinazione di un bene privato al pubblico dominio. L'intenzione è quella di evitare i problemi che le attuali leggi sul copyright creano per la diffusione e la condivisione delle informazioni.

Le idee dell'astronomia perciò non potrà mai essere venduto. Personalmente non ho nulla contro il diritto d'autore benché sia innegabile che il copyright abbia portato ad abusi. Ho ricevuto tanto, come tutti, da coloro che mi hanno preceduto nella storia, e qualche dovere nel trasmettere qualcosa di quel patrimonio ce l'ho.

Quindi scaricate il libro, ma soprattutto leggetelo, magari stampando solo un capitolo per volta da leggere in tram, scrivendo le vostre personalissime glosse, approfondendo i temi trattati e commentandolo con altri! È per voi.

www.nostronomics.com

Un doveroso ringraziamento va a mio nipote Andrea Masella che ha impaginato con LaTeX; a Mogi Vicentini devo l'uso di alcune immagini.

Un particolare grazie va a Fabio Peri, instancabile Conservatore del Planetario di Milano; è lui che ha costruito, giorno dopo giorno, le condizioni perché le conferenze al Planetario raggiungessero gli standard attuali.

Anche i numerosi utenti di *Wikimedia Commons* devono essere ringraziati per le immagini che ho potuto usare; ciascuno di loro è indicato nelle didascalie.

Milano, gennaio 2010

Mauro Arpino
www.nostromics.com

Nostromics Store: science gifts & merchandising supporta lo sviluppo di questa opera e degli altri e-book disponibili gratuitamente su *Nostromics*.

www.nostronomics.com

1 Cieli arcaici

1 | Guardiamoci intorno

È una bella giornata di sole. Decidiamo di andare all'aperto e attorno a noi non c'è nulla, il nostro sguardo si estende a perdita d'occhio. Potremmo essere in un deserto o in una prateria; attorno a noi c'è solamente l'orizzonte e sopra il cielo. Osserviamo il sole e se abbiamo pazienza di aspettare, ci accorgiamo che si è lievemente spostato, cioè che l'ombra da noi gettata al suolo si è mossa. Se poi possiamo aspettare molto di più, potremo vedere che il sole si è abbassato tanto da toccare l'orizzonte. Addirittura, dal momento che il sole è un dischetto nel cielo di dimensioni apprezzabili, possiamo seguire con calma il suo scomparire progressivamente sotto l'o-

rizzonte. È un'esperienza semplice ma in qualche modo insolita. Quando il sole è ormai sotto l'orizzonte la luce nel cielo azzurro si affievolisce e diventa buio. È notte.

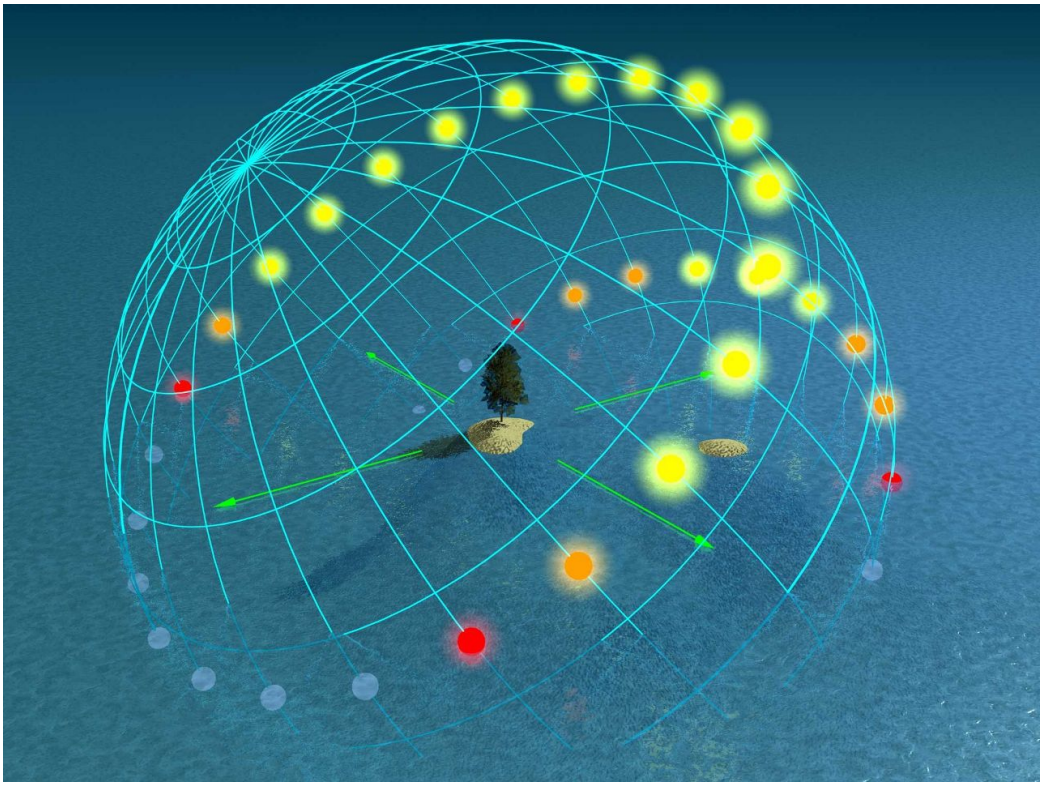

Figura 1.1 | Arco diurno del Sole nei due solstizi osservato da una latitudine di 50° nord. (Wikimedia Commons; user Tau'olunga)

Un'esperienza simile a questa è patrimonio degli uomini e delle donne di tutti i tempi, fin dalle epoche più remote. Se pensiamo a quanto abbiamo assistito, ci accorgiamo che abbiamo osservato lo spazio (cioè l'orizzonte, il limite tra il cielo e la terra) e il tempo (percepito mediante il moto del sole nel cielo). Potremmo ripetere il giorno successivo la stessa osservazione, ma questa volta decidiamo di svegliarci presto, addirittura prima del sorgere del sole. Vedremo così il passaggio dal buio della notte al chiarore del giorno e identificheremo il punto particolare dell'orizzonte dove il sole è apparso.

Osserviamo per diverse ore il sole alzarsi lentamente sull'orizzonte e raggiungere un punto alto nel cielo. Dopo questo culmine, dapprima impercettibilmente, notiamo che il sole comincia a declinare verso l'altra parte dell'orizzonte. Abbiamo quindi osservato il punto che indica la metà

www.nostronomics.com

del cammino del sole in cielo. È mezzogiorno. Dopo questo apice l'astro del giorno si congiungerà di nuovo all'orizzonte. Ricapitoliamo. Abbiamo identificato tre punti significativi appartenenti all'orizzonte che sono determinati dal sole:

- il punto in cui il sole sorge;
- il punto esattamente sopra il quale il sole ha raggiunto la massima altezza a mezzogiorno;
- il punto in cui il sole tramonta.

È stato faticoso, più che altro noioso, aspettare tutto quel tempo, ma siamo di sicuro fieri di noi: abbiamo scoperto dei punti del remoto orizzonte che devono evidentemente essere di una certa importanza.

Ma come tutti, abbiamo anche noi i nostri affari da seguire e per un po' di tempo ci dimentichiamo di questa osservazione del sole e dell'orizzonte. Nel frattempo il sole è sorto e tramontato moltissime volte, diciamo cento volte, finché una notte in cui proprio non riusciamo a dormire decidiamo di alzarci di buon'ora, così, tanto per andare a vedere il sole sorgere proprio in quel punto dell'orizzonte che abbiamo a suo tempo identificato. Accade però qualcosa di imprevisto. Al momento dell'alba il sole non sorge dove ce lo aspettavamo, ma in tutt'altro punto dell'orizzonte. Incuriositi da questo comportamento del sole continuiamo ad osservarlo per tutta la giornata per vedere se si manifestano altre deviazioni dalle nostre previsioni. Arriva il mezzogiorno e il sole culmina sempre nel punto giusto, cioè proprio come la volta precedente, cento giorni fa. Nulla di anomalo da registrare. Ora si tratta di verificare se tutto va come la volta precedente anche al tramonto. E qui ci aspetta un'altra sorpresa: il punto all'orizzonte in cui il sole tramonta è spostato rispetto a quello di cento giorni fa. Qualcosa di assai importante però lo abbiamo imparato. Mentre i punti di levata e tramonto sono diversi, ecco che invece il punto dell'orizzonte sopra il quale il sole culmina a mezzogiorno rimane fisso. Adesso sì che abbiamo in mano qualcosa di stabile, una direzione fissa, immutabile nel corso dei giorni e degli anni: quel punto remotissimo all'orizzonte sopra il quale il sole si trova a metà del suo percorso diurno.

Il racconto di queste esperienze elementari contiene una grande quantità di informazioni non solo di tipo astronomico, ma racchiude il cuore di molte osservazioni compiute nelle epoche preistoriche. Esse ci permettono di cogliere le motivazioni e la mentalità dei più arcaici astronomi. Potremmo infatti decidere, e con valide ragioni, di marcare in maniera permanente la direzione del mezzogiorno. Potrebbe essere utile anche ad altri perché assolverebbe contemporaneamente a una duplice funzione: una di

www.nostronomics.com

tipo *spaziale*, perché la direzione del mezzogiorno è un asse privilegiato che solamente uno sconvolgimento cosmico potrebbe alterare (ad esempio potrebbe servire per indicare la strada per altri villaggi). La seconda funzione, che potrebbe assolvere, sarebbe invece di tipo *temporale*: se tutti sappiamo quando è mezzogiorno possiamo darci un appuntamento e tutto il villaggio si potrebbe riunire ad un istante prefissato e facilmente identificabile da tutti. Ma come trovare sempre e facilmente l'asse del mezzogiorno? Si potrebbero, per esempio, fissare nel terreno due pali di legno ad una certa distanza in modo che il loro allineamento indichi con precisione la direzione del mezzogiorno, ovvero il punto cardinale Sud. Collochiamo dunque i pali e invitiamo tutto il vicinato ad ammirare questa meraviglia tecnologica, i "due pali che indicano il mezzogiorno". Per un po' di anni i pali assolvono la loro funzione indicando il momento a metà della giornata, ma poi, a causa delle intemperie, il legno comincia a deteriorarsi e decidiamo di sostituirli con enormi pietre di forma allungata realizzate allo scopo e ben conficcate nel terreno.

Senza nemmeno accorgercene abbiamo dato inizio al Megalitismo. Saremmo indotti a pensare che la realizzazione di imponenti complessi di pietra astronomicamente allineati risponda a chissà quali astruse credenze sciamaniche, del tutto estranee alla nostra cultura, ma le cose verosimilmente non stanno in questa maniera. Piuttosto l'immane sforzo per trasportare anche per centinaia di km enormi massi risponde ad esigenze che, almeno nello spirito iniziale, corrispondono ad esigenze di calendario, indispensabili per conoscere i tempi della semina e del raccolto.

2 | Il fenomeno del Megalitismo

Un megalito, dal greco *megas* (grande) e *lithos* (pietra), è una struttura costituita da una o più grosse pietre assemblate senza l'uso di cemento o calce. I megaliti presentano forme e strutture diverse, anche se si possono individuare alcune tipologie fondamentali, come il *menhir*, un masso grezzo o appena sbozzato o il *dolmen*, un tipo di tomba preistorica a camera singola la cui realizzazione viene collocata tra la fine del V millennio a.C. alla fine del I millennio a.C.

In Europa occidentale i megaliti sono solitamente riconducibili al periodo neolitico o all'età del bronzo (4500–1500 a.C.). Il megalito più noto è probabilmente Stonehenge in Inghilterra, il cui primo nucleo risale al 3100 a.C. Non tutti i complessi megalitici hanno ovviamente un significato astronomico, dove per "significato astronomico" dobbiamo intendere un

www.nostronomics.com

La Guerre du feu (film, 1981) (*Quest for Fire*, in inglese)
La *Guerre du feu* è un film franco-canadese realizzato da Jean-Jacques Annaud. La vicenda è ambientata in Europa nel Paleolitico 80.000 anni fa durante l'Era Glaciale quando membri *Homo Herectus* della tribù Wagabu attaccano gli Ulams che sono della specie *Homo neanderthalensis*. La promozione del film dichiarò che nessuna delle situazioni, né alcuna delle scelte della messa in scena erano contrarie alle conoscenze scientifiche del tempo. Tuttavia numerosi punti sono in disaccordo, talvolta profondo con i dati disponibili al momento della realizzazione del film. Resta comunque un quadro generale assai suggestivo. La lingua parlata dai Sapiens è stata inventata dal linguista Anthony Burgess e costituisce una delle maggiori attrazioni del film.

Homo sapiens (documentario, 2005)
Homo sapiens è un film documentario di Jacques Malaterre sull'epopea dei primi uomini sulla terra. Racconta la storia dei nostri antenati a partire da 250.000 anni fa. Fu trasmesso per la prima volta da France 3 e France 5 nel 2006.

sistema di allineamenti di pietre che indichino direzioni astronomicamente significative, per esempio la direzione dell'orizzonte dove il sole sorge al solstizio d'estate. Tra i complessi con significato astronomico possiamo menzionare:

- **Nabta**, in Egitto nel Deserto Nubiano (a circa 800 km a sud del Cairo) risalente al V millennio a.C. Gli studi suggeriscono che potrebbe essere stato un calendario preistorico che indica il solstizio d'estate. Essendo collocato sul Tropico del Cancro il sole, al solstizio, non getta ombre.
- **Stonehenge**, in Inghilterra, realizzato in fasi successive tra il 3100 a.C. e il 1600 a.C.
- **Carnac**, in Francia nel villaggio omonimo in Bretagna. Si tratta di un complesso di 3.000 pietre erette da una popolazione pre-celtica intorno al 3300 a.C., ma alcune rocce sembrano risalire al 4500 a.C.
- Il **Cerchio di Goseck**, in Sassonia-Anhalt (Germania). Si tratta di un insieme di fossati concentrici di 75 metri e due palizzate. Al solstizio d'inverno, un osservatore situato al centro del sito avrebbe visto il sole sorgere e tramontare attraverso le porte di sud-est e sud-ovest. Frammenti di ceramica rinvenuti in *situ* hanno permesso di datare l'osservatorio al 4.900 a.C.

L'astronomia neolitica avrebbe svolto un ruolo non solamente nel presiedere all'attività agricola o per finalità cultuali come il culto dei morti o della natura. È ipotizzabile che fosse legato a questi siti megalitici un

www.nostronomics.com

Figura 1.2 | Stonehenge. (Wikimedia Commons; user Mavratti)

più profondo significato socio-culturale, connesso ad una concezione cosmologica che con il passare del tempo si trasforma di pari passo con i mutamenti di sistemi di trasmissione della conoscenza via via più efficaci. Questi possono essere identificati nel lungo e non del tutto conosciuto passaggio dal linguaggio simbolico a quello scritto ed alla matematica.

Nel contesto di questi metodi precedenti la scrittura e il calcolo, possiamo annoverare il *Quipu*. Si tratta di uno strumento di supporto della memoria adottato dagli Inca e dalle civiltà precedenti nella regione andina. Un quipu solitamente consiste in un insieme di cordicelle di cotone colorate ed annodate in più punti che esprimono valori numerici, e di altro tipo. Un numero è rappresentato come una sequenza di nodi in base 10. Alcuni dati non sono numeri. Essi erano ugualmente composti di cifre, ma il numero risultante sembrava essere usato come un codice, similmente all'uso che abbiamo oggi di un codice postale per inoltrare la corrispondenza, o un numero civico. Gary Urton e Carrie J. Brezine in un articolo su Science del 2005 [1] hanno rivelato di aver identificato per la prima volta in un quipu un concetto non numerico, un toponimo della città di Puru-

www.nostronomics.com

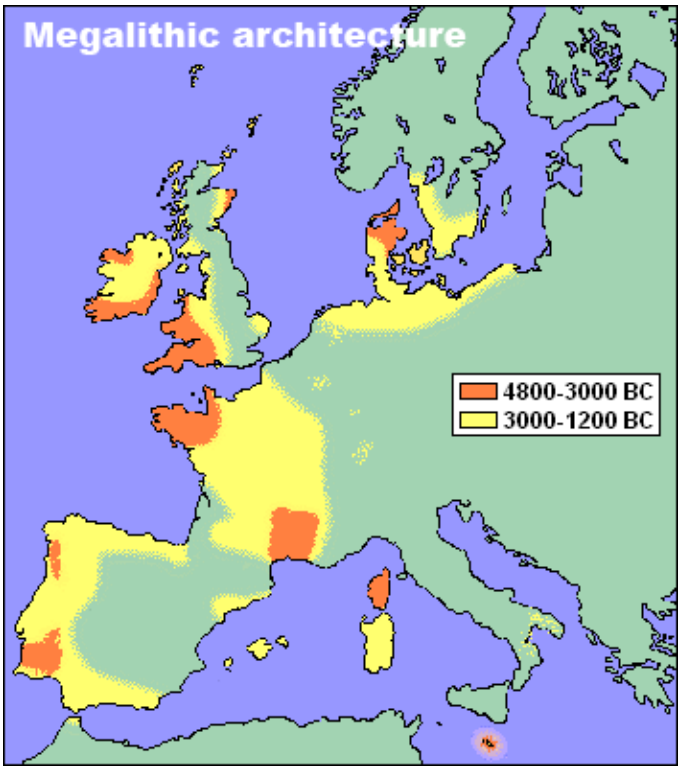

Figura 1.3 | Mappa della distribuzione dei Megaliti in Europa. (Wikimedia Commons; user TharkunColl)

chuco, (vicino a Lima), rappresentato da tre nodi a forma di otto all'inizio del quipu.

Il fenomeno dei siti astronomici megalitici quindi può essere inteso come una tappa del lungo processo che ha condotto all'invenzione della scrittura e della matematica. Una sorta di laboratorio per esercitare e imbrigliare il pensiero astratto, conducendolo dal mito e dal culto delle forze della natura all'osservazione razionale della realtà per giungere alla previsione di fenomeni astronomici. In una società preletterata, cioè precedente l'invenzione della scrittura, si doveva assicurare la trasmissione di un sapere sempre più complesso non più solamente mediante la comunicazione orale, come si era sempre fatto, ma occorrevano nuovi sistemi per conservare per i posteri il patrimonio culturale. Evidentemente la pietra era il mezzo più efficace a cui affidare la conservazione della conoscenza. I siti megalitici e i loro allineamenti astronomici sarebbero dunque le "biblioteche", se preferite gli hard disk, di coloro che ancora non avevano inventato la scrittura.

C'è un'ulteriore questione che si può sollevare di fronte ai notevoli ri-

www.nostronomics.com

Figura 1.4 | Cerchio di Goseck, Germania. Vista interna della palizzata. (Wikimedia Commons, user Pfctdayelise)

sultati conseguiti dalle civiltà più remote. Si tratta, invero, di materia che parla più di noi e della mentalità contemporanea che delle popolazioni antiche. Potremmo porre la questione nei termini seguenti: perché alla cultura popolare risulta così difficile credere che una civiltà antica abbia potuto conseguire simili risultati? Per quale ragione hanno così successo tesi pseudo-storiche che sostengono che opere quali Stonhenge, o le grandi piramidi di Giza, o le linee di Nazca debbano essere state realizzate con il contributo di alieni? O equivalentemente che i costruttori dovessero necessariamente possedere un *corpus* di conoscenze occulte a noi ormai inaccessibili? Perché, analogamente, trovano spazio sui media tesi "complottiste" che negano vi sia mai stato un atterraggio sulla Luna e che il programma Apollo sia stato solo fumo negli occhi?

Evidentemente sono tutti aspetti di una medesima questione, quasi i sintomi di una malattia, che, da un lato è sostanziale sfiducia nelle capacità umane, dall'altro è una spinta, che mai ha realmente abbandonato la cultura occidentale, verso il pensiero magico e iniziatico. Un fenomeno carsico

www.nostronomics.com

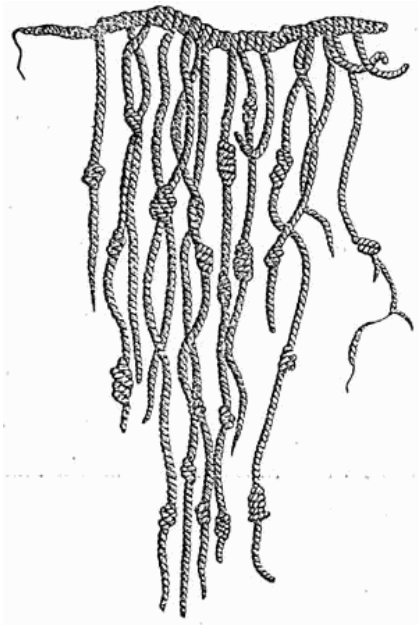

Figura 1.5 | I Quipu erano strumenti di supporto per la memoria usati dagli Inca ed erano formati da corde di cotone colorate annodate in più punti. I nodi esprimono valori numerici. (From the 4th edition of the Meyers Konversationslexikon, 1888) (Wikimedia Commons, user Dynamax)

che riemerge continuamente probabilmente come una sorta di mastice a buon mercato che riempie il vuoto lasciato dagli interstizi dell'ignoranza. Evidentemente è latente nella nostra società una mentalità pervasiva di ermetismo e di gnosticismo. L'ermetismo è un termine adottato per indicare un complesso di dottrine mistico-religiose e filosofiche nelle quali confluirono durante il tardo ellenismo teorie astrologiche, elementi della filosofia di ispirazione platonica e pitagorica, credenze gnostiche e procedure magiche egizie. Il termine trae origine da Ermete Trismegisto cioè "Ermes il tre volte grandissimo".

Queste dottrine hanno avuto un periodo di grande successo in epoca Rinascimentale, ma, evidentemente, sono più che mai presenti, anche in ambienti insospettabili.

3 | Il moto diurno del sole

Torniamo ora nel prato e osserviamo di nuovo il moto del sole. Se ci troviamo a 45° di latitudine Nord, che è la latitudine di Milano, nel corso di un anno noteremo che il punto di levata del sole all'orizzonte orientale si sposta giorno dopo giorno. Analogamente si sposterà il punto di tramonto del sole all'orizzonte occidentale. È esattamente l'osservazione di cui si diceva prima.

Esistono quindi due posizioni estreme raggiunte dal sole nel corso di

www.nostronomics.com

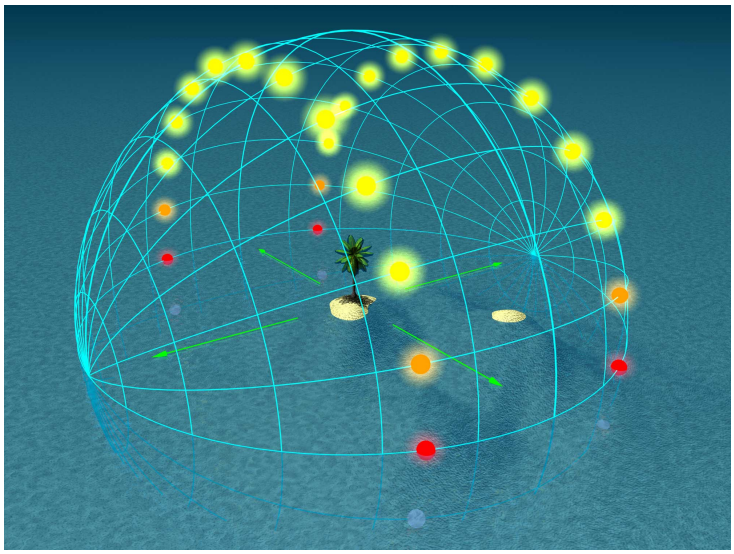

Figura 1.6 | Arco diurno del Sole nei due solstizi osservato all'equatore. (Wikimedia Commons; user Tau'olunga)

un anno: quella nel giorno del solstizio d'inverno (21 dicembre) in cui il sole sorge tardi e molto spostato verso il punto cardinale sud, e quella del solstizio d'estate (21 giugno) quando il sole sorge presto molto spostato verso nord e compie il più ampio arco diurno di tutto l'anno. La lunghezza della notte è invece contraria a quella del giorno; la notte più lunga è al solstizio d'inverno mentre quella più corta è al solstizio d'estate.

Solamente nei giorni degli equinozi il sole sorge esattamente nel punto cardinale est e tramonta 12 ore dopo nel punto cardinale ovest. Quindi il 20 marzo, all'equinozio di primavera e al 23 settembre, equinozio d'autunno, il giorno dura come la notte in tutte le località del nostro pianeta.

L'osservazione dei moti del sole però varia a seconda della latitudine a cui ci troviamo. All'equatore i percorsi del sole ai due solstizi avvengono come illustrato in Figura 1.6.

Mentre la situazione al polo è tale che il sole si trova al solstizio d'estate 23,44° *sopra* l'orizzonte e al solstizio d'inverno 23,44° *sotto* l'orizzonte. Pertanto nei mesi estivi il sole si sposterà parallelamente all'orizzonte e non tramonterà mai. Si avrà così il fenomeno del "sole a mezzanotte"(Figura 1.7).

www.nostronomics.com

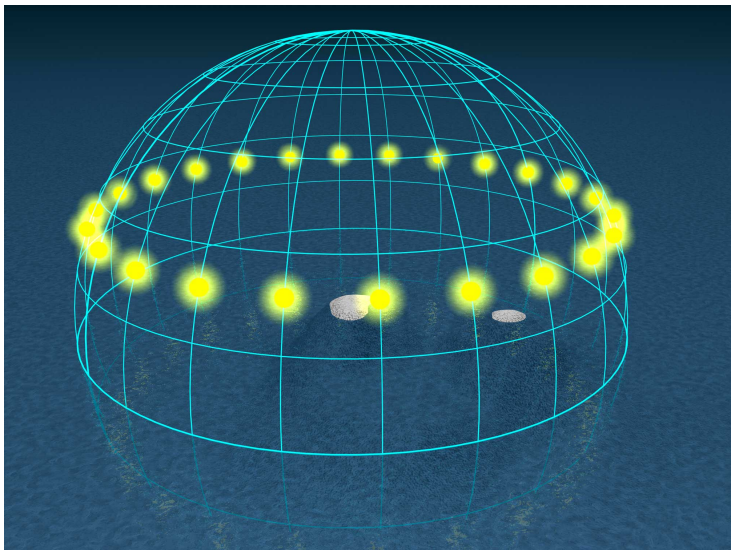

Figura 1.7 | Arco diurno del Sole osservato al polo. (Wikimedia Commons; user Tau'olunga)

4 | Il termine *nord*

Durante il periodo delle invasioni barbariche (*Migration Period*, nella storiografia di lingua inglese, e *Völkerwanderung* in quella di lingua tedesca) cioè approssimativamente tra il 300 d.C. e il 700 d.C. i nomi delle direzioni cardinali latini *borealis* (o *septentrionalis*) per il nord, *australis* (o *meridionalis*) per il sud, *occidentalis* per l'ovest e *orientalis* per l'est, vennero sostituiti con i termini attuali di origine germanica.

Quando noi identifichiamo i punti cardinali diciamo che ci siamo "orientati", letteralmente "*volgersi verso oriente*". Questa parola evidentemente conserva la memoria di un procedimento arcaico secondo il quale, trovare l'orientamento, significava trovare la direzione di levata del sole. Se facciamo in questo modo e ci volgiamo ad oriente, allora durante il corso della giornata il sole sarà alla nostra destra sopra la parte meridionale dell'orizzonte, dopo di che giunto ad occidente, cioè alle nostre spalle, tramonterà. Da questo momento il sole resta sotto l'orizzonte e si sposta sotto l'orizzonte nord, che è alla nostra sinistra, per poi sorgere di nuovo a oriente.

Tutto questo è molto significativo. Infatti la parola "nord" è esattamente il termine dell'Alto Tedesco Antico (*Althochdeutsch*) che è la forma scritta più antica di tedesco nota (tra il 750–1050 d.C.) che discende dalla radice Proto-Indoeuropea "*ner-*" che significa sia "*sinistra*"sia "*sotto*" [2]. Il che è

www.nostronomics.com

una corretta descrizione di quanto si osserva; infatti il sole a nord è sia a sinistra di dove sorge il sole, sia sotto l'orizzonte. Viene così spiegato perché la nozione di parte "sinistra" e "destra" sono sostanzialmente antitetiche, la sinistra essendo assimilata ad un concetto negativo. Si pensi alla parola "sinistro": come sostantivo è sinonimo di "incidente" o "infortunio", mentre come aggettivo ha il significato di "avverso", "di cattivo augurio", "nefasto". Non per niente quando vediamo un film horror e sentiamo una porta che cigola diciamo appunto che è un rumore *sinistro*.

Ritroviamo importanti vestigia di questo etimo Proto-Indoeuropeo nelle lingue celtiche. Anche attualmente nelle lingue di derivazione celtica i vocaboli che indicano il nord sono gli stessi che indicano il lato sinistro e viceversa per quanto riguarda il sud. Sostanzialmente nella mitologia celtica il cielo veniva diviso in due regioni: la metà chiara del cielo, riservata ai vivi ed illuminata dal sole a sud, e quella oscura a nord, cioè a *sinistra* e *sotto*, in cui è posto, secondo i testi irlandesi, il *Sidhe*, cioè il regno dei morti, degli eroi, degli esseri mitici e degli dei. Le popolazioni celtiche inoltre tenevano in grande considerazione il moto del sole e degli astri; nel corso delle cerimonie effettuavano gli spostamenti da sinistra a destra, cioè secondo il moto della sfera celeste. Questa abitudine si è conservata nello svolgimento delle processioni durante le festività cristiane, nei paesi di forte tradizione celtica, come per esempio la Bretagna [3].

Tre uomini e un'orsa (per non parlare del cane)
Le sette stelle del "Grande Carro" che costituiscono la parte centrale della costellazione dell'Orsa Maggiore, sono senza dubbio le stelle più famose del cielo boreale. Danno origine alla parola *Settentrione* che deriva dal latino *Septem* (sette) e *Triones* (buoi da lavoro). Eppure, a dispetto di questa popolarità, solo recentemente abbiamo cominciato a sollevare il velo sul mistero dell'origine di questa figura nel cielo e a decifrarne il complesso messaggio da sempre nascosto. Le prime società umane di tutta l'Eurasia conoscevano sia le stelle sia il mito dell'Orsa Maggiore e secondo la versione più diffusa, l'Orsa era disegnata dalle quattro stelle del quadrilatero del Grande Carro ed era inseguita dalle tre stelle dell'attuale "coda", che rappresentavano tre cacciatori. Il motivo mitologico di questa "caccia cosmica" è peculiare dell'Eurasia settentrionale e centrale e delle Americhe, ma sembra assente in altre parti del mondo. Le versioni euroasiatiche mostrano paralleli con tradizioni Nordamericane a livello di dettagli secondari, e questi possono essere spiegati solo dal legame storico di un'origine comune. ▷

www.nostronomics.com

In questo mito i tre cacciatori (le stelle della coda dell'Orsa) inseguono un animale, che è un alce nella maggior parte delle versioni euroasiatiche, oppure un orso, nella maggioranza dei racconti dei nativi americani. La debole stella Alcor, vicinissima a Mizar, cioè la stella centrale della coda, rappresenta un cane oppure una pentola. Questo mito collega i siberiani, specialmente quelli occidentali con l'Ovest nordamericano (i Salish, gli Chinook) e l'Est (soprattutto gli Irochesi).

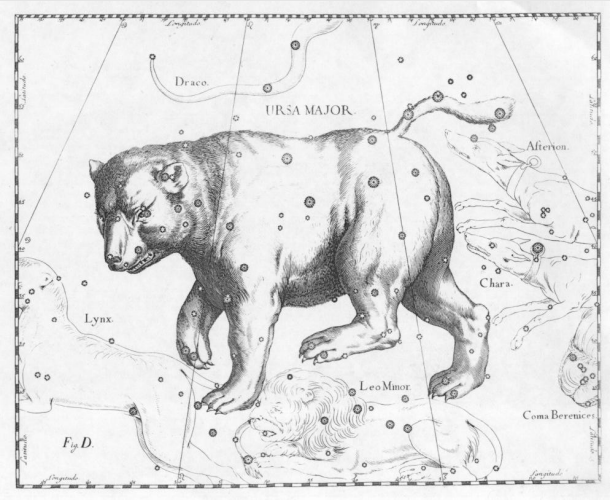

Figura 1.8 | Orsa Maggiore tratta dall'Uranographia di Johannes Hevelius (1690). (Wikimedia Commons; user Wikibob)

Come è possibile che questo mito sia patrimonio dei Greci, dei Baschi, di molte tribù siberiane e, in modo sorprendente, sia diffuso nell'America del Nord? Circa 14.000 anni fa, i cacciatori-raccoglitori del paleolitico diedero origine alla prima migrazione dalla Siberia al continente americano durante l'ultima era glaciale, portandosi dietro nelle nuove terre il racconto dell'orsa, dei tre cacciatori. . . e il cane (o una pentola!) Si tratta però di una datazione che segna solamente un limite superiore; la vera origine della costellazione dell'Orsa Maggiore potrebbe risalire a molto tempo prima di questa migrazione. Infatti alcune pitture rupestri, manufatti e ritrovamenti di crani di orso nelle caverne europee di più di 30.000 anni fa, denotano una sorta di culto paleolitico dell'orso.

Con ogni probabilità l'Orsa Maggiore è la più antica, e persistente, creazione culturale dell'umanità.

Gift Shop! Nostromics Store – Constellations

5 | Terra piatta (ma cosa fa il sole di notte?)

Continuiamo le nostre osservazioni nel solito prato. Seguiamo il sole fino al tramonto. Tutto diventa buio. Ma di notte il sole dove va? La domanda è più interessante di quanto potrebbe sembrare, benché oggi sia posta soltanto dai bambini in età prescolare. Si può affermare che il sole sia sotto l'orizzonte e questo è suggerito dal fatto che lo vediamo progressivamente

Proto-Indoeuropeo

Il termine Proto-Indoeuropeo è impiegato in linguistica comparativa per indicare la protolingua preistorica da cui si ritiene abbia avuto origine la maggior parte delle lingue antiche e moderne diffusesi in gran parte dell'Europa, dell'Iran, dell'India e in alcune regioni dell'Anatolia, dell'Asia centrale, fino ai confini della Cina occidentale.

L'esistenza di tale linguaggio è accettata dai linguisti da oltre un secolo, e ci sono stati molti tentativi di ricostruzione. Rimangono tuttavia disaccordi ed incertezze. L'unica cosa nota con sicurezza è che la protolingua deve essersi differenziata in dialetti scollegati tra loro nel tardo III millennio a.C. Una teoria che ha molto credito è l'*ipotesi Kurgan*, formulata negli anni '50 da Marija Gimbutas, una variante moderna della teoria tradizionale dell'invasione. Secondo questa teoria gli Indoeuropei sarebbero una tribù nomade delle steppe Ponto-Caspiche (ora Ucraina orientale e Russia meridionale) che si espansero in diverse ondate durante il III millennio a. C. La loro espansione coincise con l'addomesticamento del cavallo.

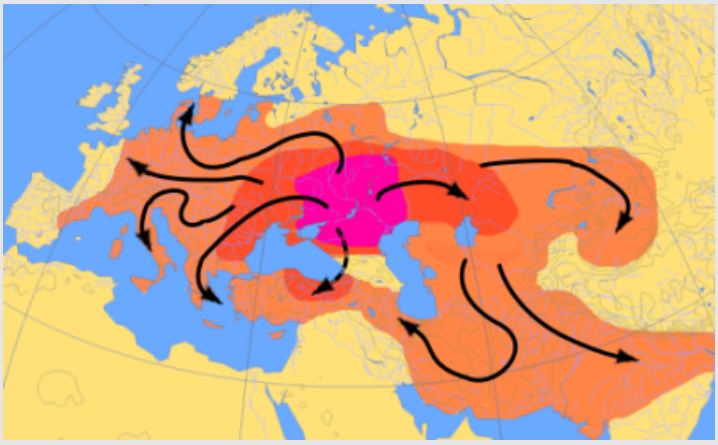

Figura 1.9 | Mappa delle migrazioni Indoeuropee dal 4.000 al 1.000 a. C. secondo l'ipotesi Kurgan. L'area magenta corrisponde alla regione dell'Urheimat, cioè la patria originale dei locutori indoeuropei. L'area rossa corrisponde alla zona abitata fino al 2.500 a.C. e quella arancione alla regione popolata dal 1.000 a.C. (Wikimedia Commons; user Dbachmann)

Tra le lingue derivate dal Proto-Indoeuropeo si includono quelle Anatoliche, tra cui l'Hittita, quelle Elleniche e Micenee, le lingue Indo-Iraniane, il Latino, le lingue celtiche, le germaniche, l'Armeno, le lingue slave, l'Albanese, le lingue baltiche, la lingua venetica, parlata dagli antichi veneti, il Messapico in Puglia, l'antico ligure, e molte altre lingue morte non del tutto decifrate. Circa tre miliardi di persone parlano attualmente lingue del gruppo Indoeuropeo.

sparire quando lo raggiunge ad occidente. Ma questo implica che l'estensione della superficie che calpestiamo sia minore della regione in cui si

www.nostronomics.com

muove il sole, cioè che la terra sia "contenuta" dal cielo. Però questa concezione non è per nulla scontata ed evidente. Non abbiamo nessun modo per sapere quanto sia grande la terra semplicemente guardando attorno al punto in cui ci troviamo. Potrebbe essere sufficientemente grande da far sì che il sole si "appoggi" nel punto dell'orizzonte in cui tramonta e dunque non vada affatto "sotto".

Figura 1.10 | Il dio egiziano Ra sulla barca del Sole durante la notte. Ra viaggia sulla barca del Sole assieme ad altre divinità, tra cui Set e Mehen che difendono il Sole dai mostri dell'oltretomba, e Ma'at che guida la barca. Tra i mostri c'è Apep, un enorme serpente, immagine dell'oscurità e delle forze del caos, che tenta di fermare ogni notte il viaggio del Sole. (Wikimedia Commons; user Ausir)

Questa era sostanzialmente l'idea che avevano i babilonesi, gli egizi, e i greci arcaici: una volta giunto all'orizzonte il sole arrivava ad un fiume e con una barca veniva traghettato durante la notte fino al punto di levata ad oriente.

Nel periodo più arcaico che emerge dalla protostoria (l'età immediatamente precedente l'invenzione della scrittura), ha grande importanza la trasmissione del sapere attraverso il *mito*. Il mito, propriamente parlando, non è altro che la parola, la più ricca fonte di informazioni della storia umana; esso può essere considerato un racconto sacro che svela dei misteri e dà la risposta a molti interrogativi degli uomini: come sono nati l'universo e l'uomo, come hanno avuto origine gli astri e la terra, le piante e gli animali, come si sono formate le società civili con l'aiuto degli eroi e degli dei. L'uomo primitivo non conosce le leggi che governano la natura, le cause della vita e della morte, del bene e del male, non comprende i motivi storici che hanno determinato la condizione del suo popolo e davanti a questo universo di immagini incomposte, il mito diventa quindi un modo per ordinare e conoscere la propria realtà.

Lo spazio e il tempo hanno una dimensione estranea alla realtà; alcu-

www.nostronomics.com

ni luoghi sacri interrompono lo spazio profano, sono quegli spazi che i miti hanno identificato come diversi, in cui bisogna comportarsi in maniera diversa come presso una fonte, su una montagna, in un boschetto. Il tempo nel mito, è simile a quello delle fiabe che cominciano con "c'era una volta", così i miti cominciano con "in origine" oppure in essi il tempo ha un carattere ciclico: una volta accaduto l'evento questo si ripete sempre, in primavera, per esempio, nei miti che riguardano la rinascita della natura. Sono esattamente questi i parametri che rendono conto dei miti rappresentati dalle costellazioni. *Andromeda*, l'archetipo della moglie perfetta; *Ercole*, l'eroe invincibile che deve superare una serie di prove; la nave *Argo* e il suo equipaggio, che sono ancora oggi saldamente presenti nella letteratura e nel cinema, *tòpos* della missione impossibile, o della "sporca dozzina". Evidentemente cambiano i dettagli, ma queste immagini hanno una presa fortissima su di noi, e tutte le volte che la storia di un personaggio, un evento reale sono trasposti al cinema vengono "drammatizzati" ricorrendo appunto a tratti propri dei miti più arcaici.

Protagonista di questo periodo troviamo l'*aedo*, il cantore professionista nella civiltà greca arcaica. Egli era una figura sacra, una sorta di profeta, tradizionalmente ritratto come cieco in quanto, essendo tale, non veniva distratto da niente e da nessuno e, affinando le capacità sensibili, poteva entrare in contatto direttamente con la divinità. La sapienza che possedeva rendeva superflua la capacità di vedere, era un "invasato", un ispirato, e le Muse parlavano attraverso di lui. Ci sono ancora tracce di questo atteggiamento nella convenzionale invocazione alle Muse nel proemio delle opere letterarie. Ad un livello di originalità minore si poneva il *rapsodo*, che, a differenza dell'aedo, ripeteva semplicemente ciò che gli era stato trasmesso dalle generazioni precedenti. Orfeo, il cantore la cui lira è stata collocata in cielo dalle Muse nell'omonima costellazione, sarà sempre ricordato per il suo disperato tentativo di riportare in vita l'amata Euridice nel suo viaggio nell'Ade, denso di significati archetipici.

Le opere di Omero, l'Iliade e l'Odissea (IX–VIII secolo a.C.), come d'altra parte le opere di Esiodo (VIII–VII secolo a.C.) derivano molto probabilmente da questa epica tramandata oralmente. Nella tradizione narrativa orale i testi non vengono trasmessi in maniera esatta e sempre uguale a se stessa, ma passano da una generazione all'altra attraverso l'opera degli aedi. Solo in epoca più tarda queste opere saranno messe in forma scritta. Nella Teogonia di Esiodo, probabilmente scritto intorno al 700 a.C, si narrano la storia e la genealogia degli dei ripercorrendo in 1022 esametri gli avvenimenti mitologici dal caos iniziale fino al momento in cui Zeus diviene re degli dei. L'importanza di questa opera consiste nella sua eredità. Esiodo lascia all'attività speculativa delle epoche successive l'idea della

www.nostronomics.com

ricerca di un principio originario del Tutto, assieme a quello della sua unitarietà ed organicità. Anche i poemi omerici non si limitano a descrivere le complesse manifestazioni della realtà, ma cercano di rintracciare dietro al loro apparente disordine una visione coerente con cause ed effetti.

Sarà proprio questo atteggiamento verso la realtà dell'epica arcaica a fornire il substrato concettuale da cui muoveranno i primi passi i pensatori della *scuola di Mileto* (VI secolo a.C.). Talete, Anassimandro e Anassimene, i principali esponenti di questa prima tradizione filosofica, furono i primi ad indagare nella storia del pensiero occidentale il problema dell'*arché*, cioè del principio originario che presiede alla genesi e alla realtà di tutto ciò che esiste.

E i pensatori di Mileto scelsero come principio primo, a cui ricondurre l'apparente molteplicità della realtà per la prima volta nella storia, gli elementi della natura.

6 | La Terra sferica

Nel corso del VI secolo a.C. ci fu quindi una significativa rivoluzione concettuale. Questa fu opera di Anassimandro di Mileto (610 a.C.–c. 546 a.C.), che per quanto ne sappiamo, fu il primo a concepire l'idea che sotto i nostri piedi, al di là della terra, potesse esistere un altro cielo. Egli credeva che la Terra fosse a forma di cilindro e sospesa nello spazio, con due superfici, quella abitata da noi e l'altra opposta, dove le nozioni di "alto" e "basso" sono invertite. Il cilindro, cioè la Terra, sarebbe rimasta stabile. Inoltre la tradizione fa risalire a lui la costruzione della prima meridiana, così come lo si ritiene il primo a redigere una carta dell'*Ecumene* [4], termine che indicava la porzione di Terra conosciuta e abitata dall'uomo, "la casa dove tutti viviamo"[5]. Spazio e tempo cominciarono così ad essere misurati e anche rappresentati, disponibili per successive elaborazioni.

Immaginare l'esistenza di una superficie opposta a quella da noi abitata era davvero un notevole salto concettuale, qualcosa che avrebbe poi avuto profonde conseguenze. L'affermazione di Anassimandro che la Terra è sospesa nel vuoto trova un'eco nell'anonimo autore del libro di Giobbe nella Bibbia. Scritto in ebraico, il suo nucleo poetico centrale risale al XI–X secolo a.C., mentre la forma attuale è attribuita al periodo post-esilico del VI–V secolo a.C. successiva quindi ad Anassimandro.

> "*Egli stende il settentrione sopra il vuoto,*
> *tiene la terra sospesa sopra il nulla.*"
>
> — Giobbe 26,7

www.nostronomics.com

Non occorse molto tempo perché attraverso successive riflessioni si generalizzasse questa nuova concezione di "alto" e "basso" e si giungesse alla concezione di una terra sferica. Il primo a sostenere l'idea di una terra sferica sembra essere stato Parmenide di Elea (seconda metà del VI secolo a.C.), fondatore della scuola di Elea. Secondo Diogene Laertio nella *Vitæ Philosophorum*, che trae la notizia da Teofrasto (371 a.C.–287 a.C.), Parmenide affermò che "la Terra è sferica e occupa il centro dell'universo". Sarebbe stato anche il primo ad affermare che Espero e Lucifero sono lo stesso astro: il pianeta Venere. Inoltre capì che la Luna è sempre sferica, riconoscendo che le sue fasi sono dovute al mutare delle posizioni reciproche di Luna, Sole e Terra che determinano l'estensione della parte illuminata dal Sole e rivolta verso la Terra:

> "*Luce splendente di notte di uno splendore non suo e che erra intorno alla terra.*
> *Sempre guardando verso i raggi del sole.*"
>
> — Parmenide, *Frammenti 14–15*[4]

Secondo il filosofo Karl Popper (1902–1994), la scoperta da parte di Parmenide che la Luna, al di là dell'apparente variabilità, permane nella sua integrità, costituirebbe un importante passo verso la costruzione dell'astronomia scientifica [6]. Quest'ultima affermazione è davvero sconcertante. Per un momento riflettiamo sul suo significato e sulla sua portata. Stiamo dicendo, assieme a Popper, che l'osservazione che la Luna riceve i raggi del Sole è una vera e propria scoperta scientifica, un'affermazione che non si trova da nessuna parte prima di Parmenide. Sembra incredibile, ma la nozione che sia il Sole ad illuminare la Luna non appartiene affatto al bagaglio delle nostre conoscenze intuitive e del senso comune. Per quanto è dato di sapere non compare, né nella tradizione, né nella mitologia di alcuna popolazione al mondo.

7 | Come sappiamo che la Terra è sferica?

Esistono delle semplici osservazioni facili da compiere che dimostrano che la Terra è sferica. Sono argomenti tradizionali che sono stati addotti sia nell'antichità sia nel medioevo.

Eclissi di Luna

Durante un'eclissi di Luna la Terra si interpone tra il Sole e la Luna e getta quindi la sua ombra su quest'ultima. Dapprima osserviamo la Luna

www.nostronomics.com

scurirsi quando essa entra nella penombra e successivamente la vediamo scomparire via via nell'ombra propriamente detta.

Figura 1.11 | Eclisse di Luna del 4 marzo 2007 fotografata a Gähwil (CH). Notare la curvatura dell'ombra terrestre sul disco lunare.(Wikimedia Commons; user Knuwu)

L'osservazione di questo fenomeno mostra che il contorno dell'ombra della Terra sulla Luna è sempre curvo. Sulla base di questo ragionamento Aristotele (384 a.C.–322 a.C.), nel *De cælo*, (297b31–298a10) conclude che la forma della Terra deve necessariamente essere sferica perché al contrario se fosse un disco getterebbe un'ombra ellittica in tutte le direzioni ad eccezione di una sola, in cui si vedrebbe sferica [7].

Spostamento in latitudine

Compiendo lunghi viaggi verso nord o verso sud, si osservano stelle diverse. In particolare viaggiando verso settentrione si vedranno stelle a sud che progressivamente scompaiono sotto l'orizzonte, mentre viaggiando verso meridione vedremo alzarsi stelle che erano sotto l'orizzonte sud. (Aristotle, *De cælo*, 297b24–31)

www.nostronomics.com

Osservazioni all'orizzonte

Quando una nave è all'orizzonte lo scafo non è visibile mentre sono osservabili le parti più alte come gli alberi e le vele.

Il geografo greco Strabone (63/64 a.C.–ca. 24 d.C.) nella sua opera *Geographica* riferisce che luci elevate o zone di terre sono visibili ai marinai a distanze maggiori di quanto lo sarebbero se fossero meno alte e attribuisce questo fatto alla curvatura terrestre.

Questi argomenti mostrarono in maniera inequivocabile che la forma del mondo abitato è una sfera. Si tratta dunque di un dato acquisito e noto ad ogni persona colta sia nell'Antichità sia nel Medioevo. Persino nelle epoche alto-medioevali la nozione della sfericità della Terra non sarà mai cancellata del tutto. I cittadini dell'Impero Romano erano familiari con la sfera quale rappresentazione del mondo e del dominio dell'imperatore sopra di esso. Per esempio una moneta del IV secolo d.C. al tempo dell'imperatore Costantino I, lo mostra nell'atto di tenere un globo in mano, e una moneta del II secolo d.C., al tempo dell'imperatore Adriano, mostra una divinità con un globo sotto i piedi. In epoca cristiana le monete rappresenteranno il simbolo della regalità come una sfera sormontata da una croce (il *Globus cruciger*). Un altro esempio lo troviamo nell'*Arazzo di Bayeux* confezionato tra il 1070 e il 1077, che descrive i fatti relativi alla conquista normanna dell'Inghilterra del 1066. In esso Re Harold tiene in mano proprio un globus cruciger.

Se persino tra le popolazioni meno acculturate del medioevo sopravvive in qualche modo la nozione della sfericità della terra, perché allora il sapere comune attribuisce genericamente agli "antichi" l'idea della terra piatta? Per quale motivo la tradizione conferisce a Cristoforo Colombo il merito di aver prima intuito e successivamente sfruttato in maniera audace la sfericità terrestre? Evidentemente ci siamo imbattuti in una delle zone grigie della nostra cultura; laddove, per una serie di motivi non facilmente riconoscibili, anche persone di un livello culturale considerevole cadono in errore. Sembrerebbe che nell'immaginario collettivo siano ben radicate delle leggende che svolgono una loro funzione ideologica. E il loro ruolo è precisamente quello di dare una giustificazione popolare al fenomeno della "riscoperta" di nozioni provenienti dal passato e ormai fossilizzate, tra le quali c'è senz'altro l'idea della terra sferica. Conseguentemente, colui che opera la riscoperta o il riutilizzo di tali nozioni antiche viene scambiato per un precursore geniale della scienza successiva.

www.nostronomics.com

Figura 1.12 | Il *Globus Criciger* è una sfera che rappresenta la Terra con in cima apposta una croce. Qui lo vediamo su una moneta, un Solido dell'epoca di Leone III di Bisanzio (ca.685–741),rappresentato insieme a suo figlio Costantino V. Un altro esempio celebre lo troviamo nell'Arazzo di Bayeux confezionato tra il 1070 e il 1077, che descrive i fatti relativi alla conquista normanna dell'Inghilterra del 1066. In esso Re Harold tiene in mano un globus cruciger. Contrariamente ad una opinione diffusa, nel medioevo la nozione della terra sferica era comune. (Wikimedia Commons; user Jappalang)

8 | Astronomia Egizia

Abbiamo visto come il sito megalitico di Nabta collochi le origini dell'astronomia egizia nei tempi preistorici, nel V millennio a.C. Nell'Antico Egitto l'astronomia non raggiunse mai livelli particolarmente significativi; essa rispondeva perlopiù ad esigenze pratiche legate alla necessità di disporre di un calendario e all'esigenza di orientare i templi. Certamente un ostacolo al suo sviluppo fu rappresentato dall'incapacità degli egizi di sviluppare un sistema posizionale di notazione matematica, condannandola a permanere in uno stadio primitivo. La moltiplicazione ad esempio, era sostituita da successivi raddoppi [7]. Con questi strumenti di calcolo a disposizione non si poteva andare oltre ad una comprensione elementare dei moti celesti. Tra le applicazioni pratiche dell'astronomia egizia si devono annoverare le osservazioni della stella Sirio che annunciavano le inondazioni annuali del Nilo.

Questa stella nell'antico Egitto era chiamata Sothis e il suo sorgere al mattino nella seconda metà di luglio sull'orizzonte orientale segnava le imminenti piene del Nilo. È il cosiddetto *sorgere eliaco*, cioè la levata di una determinata stella appena prima del sorgere del sole. Si tratta di un

www.nostronomics.com

Sirio
Il nome Sirio deriva dal greco *Seirus* cioè "che inaridisce, che fa appassire". Appartiene alla costellazione del Cane Maggiore. Al tempo dei greci il suo sorgere all'alba annunciava i giorni più caldi dell'anno, i cosiddetti giorni "canicolari" da cui deriva la parola *canicola*. Sirio è una stella di grande luminosità intrinseca, 26 volte quella del Sole. In realtà è un sistema binario in cui la stella A più luminosa (Sirio A) è al centro dell'orbita di una piccola stella molto densa, una nana bianca, (Sirio B) con un periodo orbitale di 50 anni. Si trova a 8,6 anni luce ed è la settima stella più vicina al Sole.

Gift Shop! Nostromics Store – Constellations

sistema semplice, ma molto efficace, per identificare un punto particolare dell'anno solare, ovvero delle stagioni.

Inoltre per determinare l'ora durante la notte gli astronomi egizi scelsero nel cielo una sequenza di 36 piccole costellazioni, i *decani*, i quali sorgevano ogni notte ad intervalli regolari, proprio come i numeri sul quadrante di un orologio celeste in movimento. Appare inoltre la natura autoctona del sistema di costellazioni adottato in Egitto.

Per quanto concerne l'orientamento dei templi, in particolare delle Piramidi, va sottolineato l'alto grado di precisione nell'osservazione del cielo raggiunto dai costruttori egizi nel corso del 3° millennio a.C. Le Piramidi di Giza sono allineate verso la stella Thuban nella costellazione del Draco che a causa della precessione degli equinozi intorno al 2800 a.C. si trovava a soli due gradi e mezzo dal Polo Celeste Nord.

9 | Astronomia Babilonese

Se l'apporto egizio agli sviluppi dell'astronomia è stato assai limitato prevalentemente a causa delle esigenze troppo anguste motivate da applicazioni pragmatiche, il discorso cambia per quanto riguarda l'astronomia babilonese. L'aspetto maggiormente significativo dell'astronomia babilonese consiste nel fatto che essa si fuse con la tradizione dell'astronomia greca dopo le conquiste di Alessandro Magno. Saranno quindi gli astronomi greci a far fruttare le osservazioni del periodo babilonese di Sole, Luna e pianeti, trasformandole in modelli matematici predittivi, i primi esempi di astronomia scientifica. Questo periodo successivo alle conquiste di Alessandro è il periodo ellenistico: avremo modo di vedere come la scienza ellenistica darà frutti straordinari.

Babilonia, la prima metropoli nella storia umana, fu dal II millennio

www.nostronomics.com

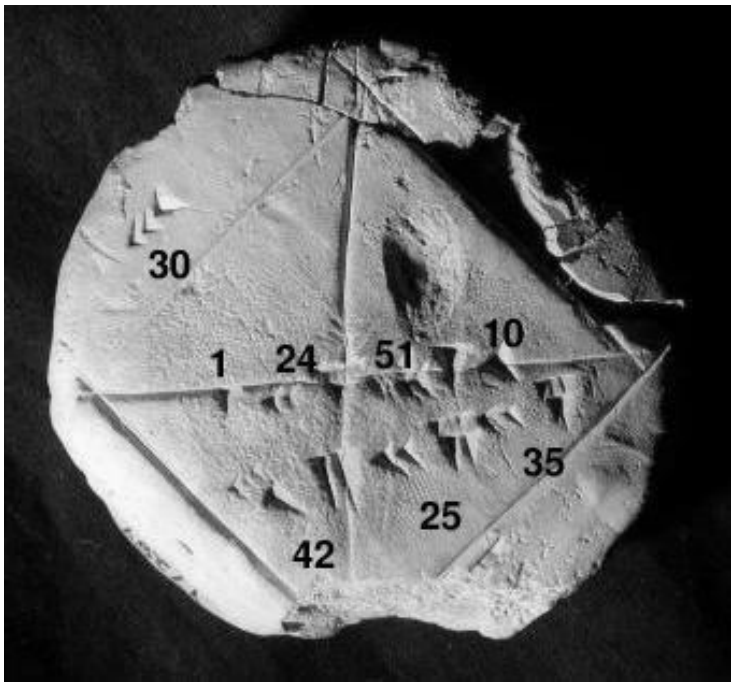

Figura 1.13 | Tavoletta YBC 7289 (circa 1800–1600 a.C.). Illustra l'approssimazione babilonese della radice quadrata di 2 in una applicazione del Teorema di Pitagora ad un triangolo isoscele.(Yale Babylonian Collection and Wikimedia Commons; user Bill Casselman)

a.C. la capitale d'un potente impero. Governata durante il periodo paleobabilonese (dal 2000 al 1600 a.C.) dalla dinastia di Hammurabi, fu conquistata dagli Ittiti, ma ben presto incorporata nell'impero cassita, a cui seguì un lungo periodo di dominio assiro. Dopo un periodo di indipendenza cadde sotto l'impero persiano. Venne annessa poi nel 331 a.C. all'impero di Alessandro Magno.

Gli osservatori del cielo a Babilonia vengono considerati astrologi, ma dobbiamo intendere questo termine in un senso un po' diverso dall'accezione moderna. In realtà prendevano accuratamente nota di quanto di insolito si osservava e ciò veniva interpretato come un presagio, come un segno di qualcosa che, con l'opportuno rituale, si sarebbe potuto evitare. L'osservazione ripetuta di questi "segni" venne codificata in una raccolta nota come *Enuma Anu Enlil*, letteralmente "Quando gli dei Anu ed Enlil". Si tratta di una collezione di circa una settantina di tavolette d'argilla che assunse la sua forma definitiva intorno al 900 a.C. Una sorta di elenco di circa 7000 segni che gli dei avevano inviato in passato ai re e che riguardavano fenomeni astronomici e meteorologici. La serie fu probabilmente

www.nostronomics.com

compilata nella sua forma canonica durante il periodo cassita (1651–1157 a.C.), ma vi fu certamente qualche versione dell'Enuma nel periodo Antico Babilonese (1950–1651 a.C.). Il suo uso continuò durante il 1° millennio a.C. e l'ultima copia databile risale al 194 a.C. [7].

Intorno al V secolo a.C. gli astronomi babilonesi si resero conto che 19 anni solari sono molto vicini a 235 mesi lunari, è il cosiddetto *ciclo metonico* che permette di perfezionare notevolmente il calendario lunisolare, cioè quel particolare tipo di calendario che tenta di riconciliare il mese lunare con le stagioni. Questo fu possibile perché a partire dal VIII secolo a.C. gli scribi dell'Enuma cominciarono a osservare e registrare fenomeni astronomici allo scopo di migliorare i pronostici. Le registrazioni proseguirono per sette secoli e l'impatto di queste osservazioni sulla storia dell'astronomia fu incalcolabile. Mediante questo lavoro continuo e metodico si resero così riconoscibili alcune regolarità, o cicli nel comportamento del Sole, della Luna e dei pianeti. Dal riconoscimento di queste regolarità fu poi possibile fare delle previsioni sulle posizioni future di questi corpi celesti, e nacquero così le effemeridi, cioè tavole che facilitano questo computo. Ma a differenza degli egizi, i babilonesi avevano a disposizione un'aritmetica piuttosto avanzata e una notazione numerica posizionale che permise loro di sfruttare compiutamente i cicli rivelati dalle loro osservazioni. Anche la divisione del cerchio in 360 unità ebbe origine nell'astronomia babilonese.

L'aritmetica che sta dietro le osservazioni lunari e solari mostra che i Babilonesi calcolavano le *prime e le seconde differenze* dei dati osservativi ed estrapolavano o interpolavano i dati. Dunque tenevano conto non solamente delle posizioni di un pianeta, ma anche della sua velocità che non è uniforme. Questa procedura significava che i dati potevano essere approssimati da funzioni polinomiali e permetteva loro di predire le posizioni giornaliere dei pianeti [8]. Tuttavia non sappiamo se gli scribi avessero in mente uno schema geometrico dei moti della Luna o dei pianeti. I babilonesi del periodo seleucide, cioè ellenistico, avevano ampie tavole dei moti del Sole e della Luna che ne davano velocità e posizioni variabili. Alcune di queste sono giunte fino a noi sotto forma di tavolette con colonne di numeri. Gli astronomi babilonesi erano in grado di predire la Luna nuova e le eclissi con una approssimazione di pochi minuti. Quel che essi trasmisero agli astronomi greci erano precise relazioni aritmetiche che collegavano tempi e distanze angolari. Ed erano esattamente queste serie preziose di dati accumulati nei secoli dai babilonesi ciò che fece sì che le teorie speculative dei greci di epoca classica si trasformassero nel successivo periodo ellenistico in modelli cosmologici geometrici e forse anche fisici.

www.nostronomics.com

2 Il meccanismo dei moti planetari

1 L'ellenismo

Abbiamo accennato a proposito dell'astronomia babilonese come questa si sia innestata nella tradizione greca dando sviluppo all'astronomia del periodo ellenistico. È assai difficile sopravvalutare l'importanza dei risultati conseguiti in questo periodo, dal momento che essi, o meglio, il loro pallido ricordo, costituiranno il sapere astronomico del Medioevo latino e islamico, e permetteranno agli astronomi del Rinascimento di consegnare un'astronomia matematica nelle mani di Copernico, Galileo e Keplero. È

opportuno perciò inquadrare sommariamente il periodo ellenistico.

Ellenismo è un termine che designa il periodo storico e culturale durante il quale la civiltà della Grecia classica si diffuse nel mondo mediterraneo, euroasiatico e orientale, fondendosi con le culture con cui entrò in contatto. L'evento centrale per la storia dell'ellenismo e che ne è all'origine, è la spedizione di Alessandro Magno (334 a.C.–323 a.C.). Convenzionalmente si fa iniziare l'ellenismo con il 323 a.C., anno della morte di Alessandro e lo si fa terminare con la conquista romana dell'Egitto del 31 a.C. Il termine *ellenismo* fu introdotto per la prima volta dallo storico tedesco Johann Gustav Droysen nel XIX secolo e accettato dalla storiografia successiva [9]. Dopo la morte di Alessandro il suo impero si dissolse e ci fu un periodo di guerre tra i suoi successori, i *Diadochi* in greco. Alla fine si formarono tre stati principali al suo posto:

- l'Egitto con capitale Alessandria (fondata da Alessandro nel 331 a.C.) e governato dalla dinastia dei Tolomei;
- il regno seleucida con capitale Antiochia (in Siria, Anatolia e Mesopotamia);
- lo stato degli Antigonidi in Macedonia.

Vi erano poi altri regni minori come quello di Battriana (negli attuali Afghanistan, Uzbekistan, Tagikistan) caratterizzato da una civiltà sincretica indo-greca. La civiltà ellenistica non venne prodotta solamente dai greci abitanti nelle regioni appartenute all'impero di Alessandro, ma ad essa contribuirono greci provenienti dalle città autonome di Siracusa, Marsiglia e Rodi.

A partire dal 212 a.C. anno del saccheggio di Siracusa e dell'uccisione di Archimede, i centri ellenistici furono conquistati dai romani e persero la loro indipendenza; l'espansione di Roma si concluse nel 30 a.C. con l'annessione dell'Egitto; l'intero bacino del Mediterraneo fu unificato nell'impero romano. Storicamente quest'ultimo evento segna la fine del periodo ellenistico a cui segue il periodo "imperiale". Dal punto di vista della storia della scienza tuttavia, il periodo aureo dello sviluppo ellenistico si era già concluso da più di un secolo con la cessazione dell'attività scientifica ad Alessandria. Tra il 145 a.C. e il 154 a.C. vi fu infatti una cruenta persecuzione della classe dirigente greca da parte di Tolomeo VIII (Evergete II). Lo storico Polibio riferisce che l'etnia greca fu quasi completamente distrutta, ma ciò che accadde veramente non è chiaro e le informazioni non sono sufficienti a capire le cause della persecuzione. Dopo la persecuzione di Evergete II nel 145 a.C. la penuria di intellettuali fu tale che a capo della

www.nostronomics.com

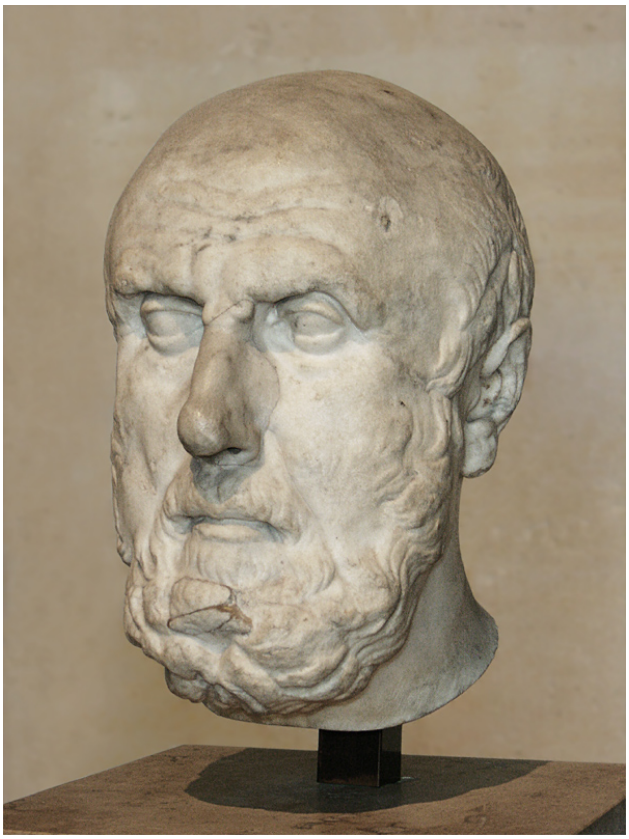

Figura 2.1 | Crisippo, chi era costui? Copia romana di busto ellenistico di Crisippo forse del II secolo d. C., conservata al British Museum. (Wikimedia Commons; user Sting)

Biblioteca fu posto un certo Cida, un ufficiale dei lancieri, come sappiamo da un papiro (P. Oxyrhynchus 1241, 2, 16). [9] Ci fu forse una cospirazione contro il re maturata negli ambienti della Biblioteca di Alessandria a cui seguì una repressione?

Dopo la fine delle guerre con Roma e la conseguente *Pax Romana*, una parziale ripresa degli studi scientifici, interrotti a causa delle guerre con Roma, fu possibile tra il I e il II secolo d.C. È questa l'epoca di Tolomeo, di Erone, di Galeno. Poi il declino fu inarrestabile, anche se Alessandria rimase per secoli un centro di studi scientifici. L'ultimo scienziato originale fu Diofanto di cui non siamo in grado nemmeno di collocare il periodo in cui visse: un'epoca compresa tra il II e il IV secolo d.C. Il crepuscolo della scienza ellenistica è da collocare nel IV secolo d.C.: essa non è originale e si limita a compilazioni e redazioni di vecchie opere. La cruenta uccisione di Ipazia, figlia di Teone nel 415 d.C. segna la fine di ogni attività scientifica ellenistica.

Ma dal nostro punto di vista la cosa più grave è che della gran parte dei risultati conseguiti dagli scienziati del periodo ellenistico non sono giunti a noi che pochi frammenti. Quasi tutti gli scritti dell'epoca ellenisti-

www.nostronomics.com

ca sono andati perduti; la civiltà che ha inventato il concetto di biblioteca, ha inventato la *filologia* per la ricostruzione esatta del testo di un'opera, è stata cancellata. Le poche opere scientifiche di questo periodo sono state trasmesse dai Bizantini e dagli Arabi. Molte testimonianze, per esempio, indicano un certo Crisippo di Soli (c. 280–c. 207 a.C.) come il maggior pensatore dell'epoca [9]. Sappiamo che fu a capo della scuola filosofica dello Stoicismo; la sua sistematizzazione delle dottrine stoiche, contenuta in circa 700 opere, lo fece un secondo padre dello Stoicismo e rese questa scuola una delle più influenti nel mondo greco e romano addirittura per secoli. Alcuni frammenti sono conservati in opere di autori successivi, come Cicerone, Seneca, Galeno, Plutarco e altri. Fu pure autore di contributi importanti nella logica delle proposizioni, ma a noi sono giunti solamente pochi frammenti ritrovati su papiri carbonizzati nella Villa dei Papiri ad Ercolano.

Un altro esempio. Erofilo di Calcedonia (c. 335 a.C.–c. 280 a.C.), fu fondatore dell'anatomia e della fisiologia scientifica, le sue opere tutte perdute sono citate da Galeno, vissuto oltre 400 anni dopo.

Questi esempi dimostrano che sono andate perdute opere di autori ritenuti fondamentali già dai contemporanei. Non possiamo perciò illuderci che siano giunte a noi le opere migliori del periodo ellenistico attraverso un meccanismo automatico di selezione naturale. L'attività successiva ha invece privilegiato le compilazioni e opere scritte in un linguaggio più comprensibile nella tarda antichità e nel medioevo, quando il livello degli studi era ormai regredito sensibilmente. Abbiamo l'opera di Filone di Bisanzio sugli esperimenti dimostrativi di pneumatica ma non è giunta fino a noi la parte più interessante che riguardava la teoria. Gran parte delle conoscenze dell'Egitto di epoca tolemaica provengono da papiri trovati nel XX secolo perlopiù casualmente, in genere fogli scartati dagli imbalsamatori. Degli altri regni ellenistici poi, a parte alcune informazioni di carattere militare o diplomatico tramandateci dai romani, non sappiamo pressoché nulla. Nel regno seleucide in Mesopotamia era ancora in uso la scrittura cuneiforme su tavolette d'argilla che si sono conservate meglio dei papiri egizi, ma ben poche tavolette sono state lette e pubblicate. E quand'anche le opere siano a disposizione spesso non è facile allo studioso trovarne un'edizione critica accessibile, e per le opere scientifiche non esistono raccolte di classici minimamente paragonabili alle autorevoli collane dedicate alle opere letterarie e filosofiche.

Il quadro che possiamo farci della scienza ellenistica è pertanto gravemente lacunoso e qualunque conclusione dovrà tener nel debito conto che la grande maggioranza delle opere non sarà mai più recuperabile. Inevitabilmente dovremo fare delle ragionevoli congetture.

www.nostronomics.com

2 | La Biblioteca di Alessandria

L'esempio più significativo dell'interesse dei regni ellenistici verso il sapere, il suo sviluppo e la sua custodia è senza alcun dubbio la Biblioteca reale di Alessandria costruita intorno al III secolo a.C. durante il regno di Tolomeo II Filadelfo. Non abbiamo notizie certe sulla sua fine; si ritiene che la Biblioteca o almeno settori delle sue collezioni siano stati distrutti in diverse occasioni prima e dopo il I secolo d.C. Tolomeo II rifornì la Biblioteca sia attraverso l'acquisto di libri su tutti i mercati e richiedendoli agli stati con cui intratteneva rapporti, sia organizzando la redazione di molte opere nuove [9, 10]. Furono reclutati esperti che oltre a padroneggiare la propria lingua conoscevano perfettamente il greco, così vennero formate squadre di traduttori. Ancora secoli dopo si ricorderà come un'impresa memorabile la traduzione dei testi iranici attribuiti a Zoroastro; si trattava di oltre due milioni di versi, da confrontare, come paragone, con i 12.110 esametri dell'Odissea. Lo zoroastrismo fu la religione nazionale persiana dal periodo achemenide a quello sasanide, tra il 360 a.C. ed il 750 d.C.

Particolarmente significativo è il cosiddetto *fondo delle navi*. Questa raccolta deve il suo nome al fatto che, secondo un editto faraonico, tutti i libri che si trovavano sulle navi che sostavano nel porto di Alessandria dovevano essere lasciati nella biblioteca in cambio di copie. Nel III secolo a.C. fu intrapresa la traduzione in greco dell'Antico Testamento, scritto in ebraico, e che divenne nota come *Septuaginta* o "Bibbia dei Settanta", indicata anche come "LXX", ed impiegata ancora oggi nella redazione delle moderne traduzioni della Bibbia. In qualche decennio la Biblioteca arrivò a contenere circa mezzo milione di libri, nella forma di rotoli di papiro. Anche nel piccolo stato di Pergamo esisteva una importante biblioteca seconda sola a quella di Alessandria ed in competizione con essa nell'acquisizione di libri. Ciò basta a mostrarci che la ricerca del sapere era una politica che i diversi stati sorti dopo le conquiste di Alessandro Magno avevano in comune.

3 | La misura della terra di Eratostene

Abbiamo visto con quali argomenti si può dimostrare la sfericità della Terra. Sulla base di essi, come ricorda Aristotele nel *De Cælo*, alcuni matematici avevano già tentato di calcolare la lunghezza della circonferenza terrestre, ma più che di misurazioni si dovrebbe piuttosto parlare di stime. Questi tentativi risalgono almeno ad un secolo e mezzo prima di Eratostene di Cirene (276 a.C.–194 a.C.) responsabile della Biblioteca di Ales-

www.nostronomics.com

sandria. Aristotele però non si preoccupa di informarci sul metodo da essi seguito. La prima misurazione delle dimensioni della Terra venne effettuata da Eratostene, un personaggio dai molti interessi e che fornì contributi significativi in molti campi dello scibile, in astronomia, geografia, cartografia, poesia. Come matematico ideò il cosiddetto *crivello di Eratostene*: un semplice algoritmo per trovare i numeri primi fino ad un numero intero specificato. La misurazione fu descritta da Eratostene nella sua opera "*Sulla misurazione della Terra*", che però non è giunta fino a noi; ad essere pervenuto è però un breve resoconto divulgativo, *Coelestia*, opera di Cleomede, un autore vissuto in un epoca non precisabile tra il I secolo a.C. e il 400 d.C. [9].

Il procedimento può essere riassunto come segue. È un giorno speciale, è il solstizio d'estate 21 giugno e le due città di Alessandria d'Egitto e Siene (l'attuale Assuan) si trovano esattamente una a nord dell'altra. Siene si trova sul Tropico del Cancro quindi, a mezzogiorno del solstizio d'estate il Sole, a Siene, si trova esattamente allo zenit, cioè perpendicolare sopra le nostre teste e non getta alcuna ombra. Nello stesso istante, cioè a mezzogiorno, circa 800 km più a nord si trova la capitale Alessandria e lì il sole non è allo zenit, ma si trova un po' più in basso a circa 7 gradi dalla perpendicolare. Se conosciamo la distanza lineare tra le due città il gioco è fatto. Perché vista dal centro della Terra questa distanza angolare tra le due città è proprio di sette gradi. È sufficiente pertanto impostare una semplice proporzione ed affermare che 7 gradi vedono gli 800 km, come 360 gradi vedono l'incognita ovvero la circonferenza terrestre. Risolvendo il calcolo si ottiene immediatamente il valore della circonferenza del nostro pianeta.

Ci si rende conto immediatamente che sono state fatte diverse ipotesi date tacitamente per valide. Tra queste alcune sono errate, ma possono tranquillamente essere considerate "errori sperimentali", come l'ipotesi che Siene ed Assuan siano esattamente sullo stesso meridiano e dunque l'istante del mezzogiorno sia lo stesso. Si tratta di un dato che potrà riguardare la precisione del risultato ma nulla di concettuale. Altre ipotesi invece, sono assai più delicate, come per esempio l'implicita assunzione che le dimensioni della Terra siano piccole in rapporto alla distanza Terra-Sole, o, esprimendo l'idea in altri termini, che i raggi solari siano paralleli tra loro. Chi ci assicura che sia davvero così?

In realtà il metodo di Eratostene era più complesso, come testimoniato dallo stesso Cleomede, il cui scopo dichiarato era quello di esporre una versione semplificata rispetto a quella contenuta nell'opera originale scritta da Eratostene, che con tutta probabilità era disponibile per la consultazione ai contemporanei di Cleomede. Si trattava di una sorta di versione divulgativa di un'impresa che aveva lasciato una notevole eco [9].

www.nostronomics.com

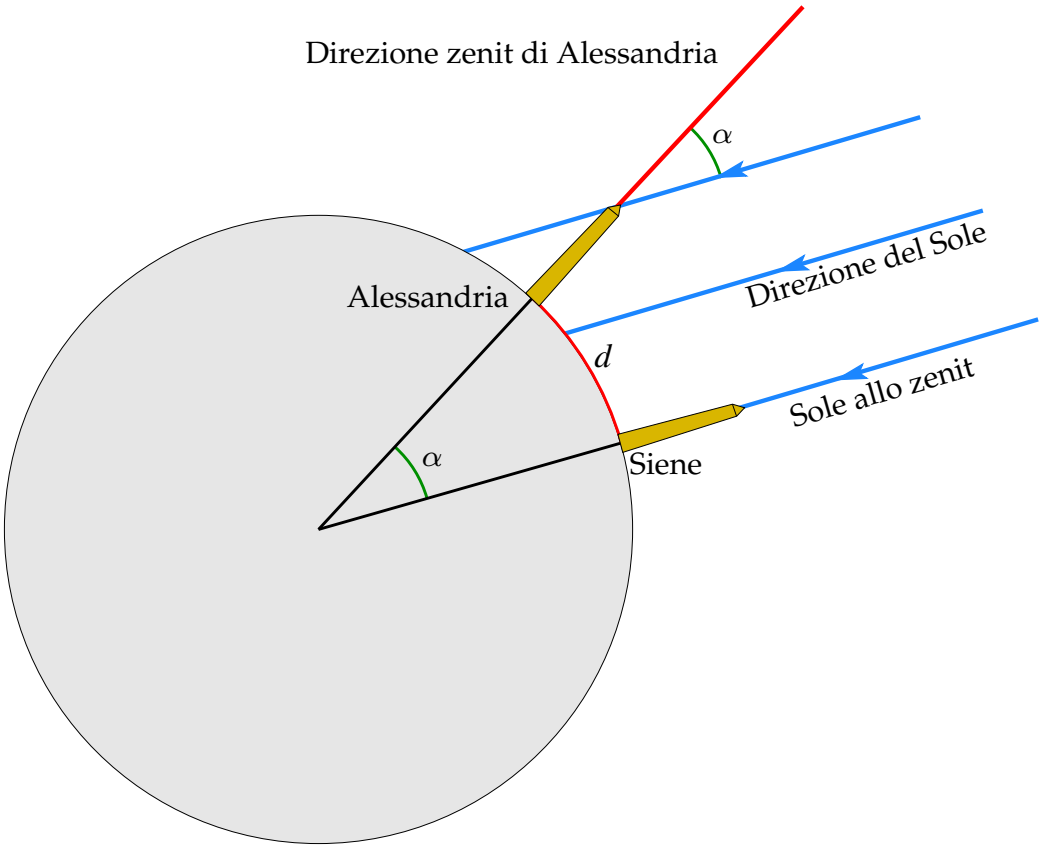

Figura 2.2 | Misurazione della Terra di Eratostene. A mezzogiorno del solstizio d'estate il Sole si trova allo zenit a Siene, mentre più a nord, ad Alessandria, è più basso della perpendicolare di circa 7 gradi (angolo α). Conoscendo d, la distanza lineare tra le due città, si può calcolare la circonferenza terrestre.

Eratostene dichiara che il valore della circonferenza terrestre è di 252.000 stadi. Per capire la precisione ottenuta dalla sua misura è necessario conoscere l'esatto valore attribuito da Eratostene all'unità di misura, lo *stadio*. Le opinioni degli studiosi al riguardo sono contrastanti. Il comune *stadio Attico* aveva una lunghezza di circa 185 metri, che implicherebbe una circonferenza di 46.620 km cioè troppo grande e affetta da un errore del 16,3%. Se invece si assume che Eratostene abbia impiegato lo *stadio Egiziano* di 157,5 metri, allora la sua misura risulta di 39.690 km con un errore inferiore all'1%. Gli storici hanno sempre mostrato molto scetticismo per quest'ultimo valore considerandolo troppo preciso per i limitati mezzi a disposizione di Eratostene. Perciò si registra uno spettro di opinioni tra gli studiosi al riguardo, che spaziano dalla preferenza per il risultato gros-

www.nostronomics.com

solano, fino ad ammettere che il risultato preciso sia corretto ma per una compensazione casuale di errori di segno opposto. Lucio Russo fa osservare significativamente, che l'unica misurazione successiva delle dimensioni della Terra, o del grado di meridiano, sarà effettuata dall'Accademia di Francia nel 1669. I francesi ottennero un valore del grado di meridiano di 111,715 km, con un errore dello 0,54% [9].

Eratostene non si limitò a misurare la circonferenza terrestre. Strabone riferisce di una sua misura della distanza tra Alessandria e Rodi pari a 3.750 stadi, e di nuovo gli storici lo hanno interpretato come una stima casualmente vicina al valore corretto. Eppure Cleomede ci informa di un aspetto della misura dell'ombra in prossimità di Siene particolarmente significativo circa lo sforzo compiuto da Eratostene per compiere una misurazione con la massima precisione possibile. Cleomede infatti dice che a mezzogiorno del solstizio d'estate le meridiane non davano ombra entro una fascia larga 300 stadi attorno al tropico. La conclusione che Lucio Russo trae da questo particolare è che le misure con le meridiane siano state molte, in una vasta zona e il tropico era stato evidentemente misurato come la linea mediana della fascia senza ombra. Dunque Eratostene non si sarebbe mai sognato di affermare che Siene si trova sul tropico, ma essa è semplicemente la località ad esso più vicina, la base naturale per ogni spedizione al tropico. Il Bibliotecario di Alessandria sapeva che le differenze di latitudine erano rilevabili con osservazioni astronomiche tra località sullo stesso meridiano e distanti 400 stadi (Strabone, Geographia, II, i, 35). Ma Siene si trova a più di 400 stadi dal tropico. Inoltre il matematico Pappo (290–350 d.C.) nella sua opera *Collectio*, nel libro VII, cita un'opera perduta di Eratostene dal titolo *Sulle medie*. L'esistenza di un trattato su questo argomento suggerisce che Eratostene fosse in possesso di una tecnica di teoria degli errori che consisteva nel fare molte misure da condensare in un unico risultato per mezzo di un procedimento di media [9]. Se infatti la distanza tra le due città è affetta da errore questo si propagherà anche al risultato finale. Nel mondo romano esistono tratti di vie sorprendentemente diritti, come i 90 km della Via Appia tra Roma e Terracina, o i lati di zone squadrate di territorio, le *centuriatio*, di oltre 50 km, che formano angoli perfettamente retti. Ciò esige tecniche di triangolazione. [11] Forse Eratostene impiegò un'altra tecnica di misurazione affidandosi ai *bematisti*, cioè a specialisti che erano in grado di misurare le distanze contando i passi [12]. Essi avevano già accompagnato Alessando Magno nelle sue spedizioni. La loro precisione potrebbe essere stata sorprendente, e forse impiegavano anche degli strumenti come gli *odometri*, apparecchi dotati di ruota che servivano per misurare la distanza di un tratto di strada, benché nessuna fonte riferisca questo. Delle nove misure di bematisti citate nella

www.nostronomics.com

Naturalis Historia di Plinio, otto mostrano una deviazione di meno del 5% dalla reale distanza, tre di esse meno dell'1%.

Esiste tuttavia un'altra possibilità e riguarda il possibile uso di sistemi dotati di lenti per il rilevamento geodetico. Facciamo un passo indietro. Conosciamo molto poco dell'ottica nel mondo greco perché le due principali opere conservate, quelle di Euclide e di Tolomeo, sono separate nel tempo da circa mezzo millennio. Sembra che il trattato di Euclide rappresenti un fase iniziale di questa scienza, che ebbe maggiore sviluppo nei trattati ellenistici di epoca successiva ma che a noi non sono giunti. L'opera di Tolomeo, invece, rappresenterebbe, secondo vari indizi, più un parziale recupero delle conoscenze precedenti che non uno sviluppo. Quindi non possiamo ricostruire lo stato realmente raggiunto dalla scienza ottica nel periodo ellenistico e tra le conoscenze su cui mancano informazioni hanno particolare significato quelle relative alla rifrazione. La parte ad essa relativa nell'opera di Tolomeo ci è giunta incompleta. È però evidente il valore applicativo di questa disciplina perché essa apre la strada all'impiego delle lenti. Esistevano davvero delle lenti nell'antichità?[13, 14] In diverse fonti letterarie ci sono testimonianze di impieghi di lenti. Plinio (*Naturalis Historia*, XXXVII, 28–29) riferisce dell'uso in medicina di lenti per cauterizzare delle ferite. Esistono poi evidenze archeologiche particolarmente significative di lenti fabbricate nell'antichità. A Creta sono state ritrovate due lenti piano-convesse e una di esse poteva ingrandire sette volte. Al museo di Iraklion sono in mostra oltre una ventina di lenti e anche a Pompei fin dal XVIII secolo, sono state ritrovate lenti. Tuttavia spesso queste sono state interpretate come monili e non riconosciute come prodotti tecnologici rivolti per lo più ai fabbricanti di gioielli ed incisori. Ma le fonti letterarie ci dicono altro, più pertinente con il nostro intento che è quello di ricostruire le metodologie che Eratostene avrebbe potuto impiegare per determinare le dimensioni della Terra. Un riferimento particolarmente significativo è quello di Strabone. Egli accenna a certe "canne" mediante le quali si potrebbe ottenere un ingrandimento delle immagini per mezzo della rifrazione dei raggi visuali (*Geographia*, III, i, 5). Anche un passo di Gemino, studioso del I secolo a.C., è interessante. In esso si spiega come gli addetti al rilevamento che usavano le diottre, si basassero a volte sul fenomeno della rifrazione. Questo strumento, la *diottra*, consisteva in un sistema di cerchi graduati con una mira, secondo una descrizione fornita da Erone di Alessandria (c. 10 a.C.–c. 70 d.C.) ed era impiegata estensivamente nella realizzazione di strade ed acquedotti. Significa forse che Gemino riferisce la circostanza che le diottre potevano montare dei sistemi di lenti per ingrandire, cioè dei piccoli cannocchiali, esattamente come nei moderni teodoliti? È una possibilità che non può essere del tutto scartata soprattutto se

www.nostronomics.com

ragioniamo sul significato della parola "diottra". Lucio Russo fa notare che *dioptron* etimologicamente significa qualcosa attraverso cui passa la vista, ma spesso la convinzione che in antichità non esistessero lenti ha portato gli studiosi a tradurre *dioptron* con "specchio" che però aveva un termine specifico: *katoptron* [9]. Perciò è ben strano che per diottra si intenda un dispositivo che ha lo stesso nome della parola impiegata per indicare le lenti, ma che non ne faccia alcun uso. Certamente l'affermazione secondo cui nel periodo ellenistico ci fossero sistemi di lenti sulle diottre in grado quindi di aumentare la precisione dei rilevamenti terrestri è difficile da accettare, ma non dimentichiamo neppure che noi abbiamo un buco di cinquecento anni nella conoscenza della scienza ottica di questo periodo. Forse con l'uso di odometri o di teodoliti fu possibile misurare la distanza tra Alessandria e Siene con una precisione elevata e da qui arrivare a una esatta misurazione della Terra.

4 | La retrogradazione dei pianeti

Fin dai tempi più antichi gli astronomi notarono come certi astri si spostano nel cielo rispetto alle stelle. I greci chiamarono questi astri in movimento "πλάνητες ἀστέρες" (*planetes asteres*, cioè "stelle erranti") o semplicemente "πλανήτοι" (*planētoi*: "erranti") da cui deriva la parola *pianeta*. Il testo astronomico più antico che si riferisce ad un pianeta è un lista babilonese di osservazioni dei movimenti di Venere, nota come *Tavoletta di Ammisaduqa*. Si tratta di una copia del VII secolo a.C. di un elenco di osservazioni del pianeta Venere che probabilmente risalgono al secondo millennio a.C. [7]. Il moto dei pianeti rispetto alle stelle, dette perciò anche *stelle fisse*, avviene lungo una zona del cielo ben precisa, l'*eclittica*. Questa è a rigore il cammino apparente che il Sole traccia nel cielo durante l'anno e le eclissi di Sole avvengono su di essa (*ékleipsis*, propriamente "abbandono, mancanza" da *ekleipein* "abbandonare, venir meno").

Dal greco "ékleipsis" deriva dunque *eclittica*, l'orbita apparente percorsa in un anno dal Sole e per estensione può definirsi come la zona dove si potranno osservare i pianeti. Durante il loro moto i pianeti si mantengono vicini all'eclittica deviando talvolta verso nord e talvolta verso sud, ma sempre entro una striscia che si estende per 8 gradi da entrambe le parti dell'eclittica. In termini moderni possiamo descrivere l'eclittica come il piano orbitale dei pianeti del Sistema Solare.

La concezione cosmologica è quella geocentrica; la terra è una sfera al centro dell'universo ed è statica; ad una certa distanza si trova la sfera delle stelle fisse. Il Sole, la Luna e i pianeti noti nell'antichità ed osservabili ad

www.nostronomics.com

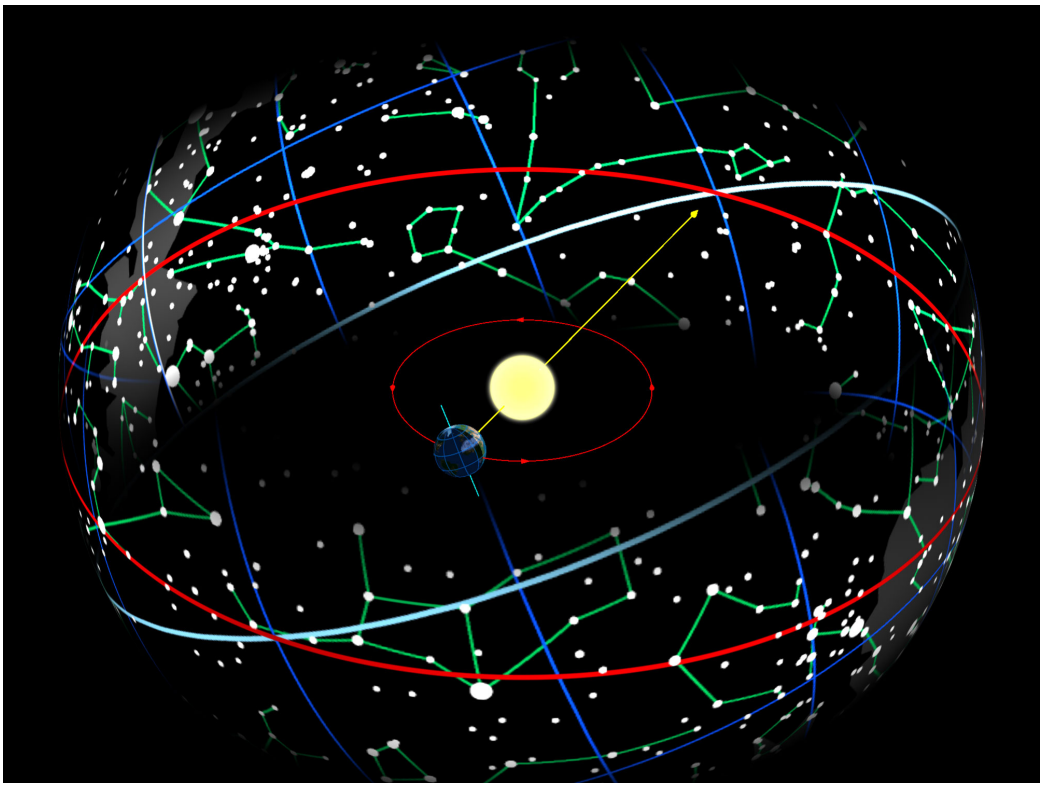

Figura 2.3 | L'eclittica è il cammino apparente del Sole sullo sfondo delle stelle fisse causato dal moto di rivoluzione annuo della Terra attorno al Sole. (Wikimedia Commons; user Tau'olunga)

occhio nudo, cioè, Mercurio, Venere, Marte, Giove, Saturno, si collocano nello spazio tra la superficie terrestre e la sfera delle stelle fisse. Questi oggetti hanno due tipi di movimenti:

- un moto complessivo diurno, cioè di 24 ore, attorno alla Terra, che riguarda Sole, Luna, pianeti e sfera della stelle e ciò dà ragione del sorgere e tramontare degli astri;
- un moto individuale e proprio di ciascuno di questi astri. Il Sole gira in un anno attorno alla Terra, la Luna in un mese circa, e i pianeti hanno ciascuno un loro periodo.

Se non andiamo troppo per il sottile possiamo affermare che tutti questi astri girano attorno alla Terra ciascuno su una circonferenza. Si tratta però di una descrizione eccessivamente semplificata.

Immaginare che i pianeti si limitino a compiere un giro attorno alla Terra non può in alcun modo rendere conto delle osservazioni, dal mo-

www.nostronomics.com

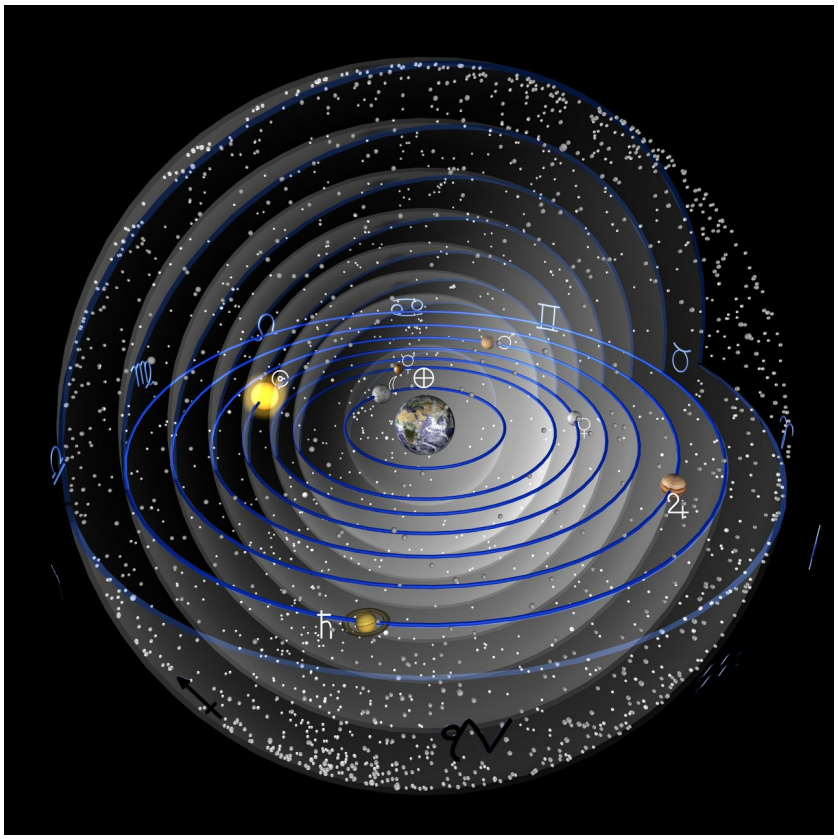

Figura 2.4 | Cosmologia geocentrica. (Planetario di Milano, Autore Mogi Vicentini, www.mogi-vice.com) Video download – Modello geocentrico (avi-DivX®, 7 MB).

mento che presentano il fenomeno della *retrogradazione*. La retrogradazione dei moti planetari consiste nel fatto che se noi osserviamo la posizione di un pianeta sullo sfondo delle stelle fisse nel corso dei mesi e degli anni, vedremo inizialmente il pianeta spostarsi da ovest verso est (*moto diretto*), lo vedremo poi fermarsi e invertire la direzione (*moto retrogrado*). Di nuovo osserveremo una sosta, e successivamente ancora un moto diretto. In breve un pianeta esterno (cioè Marte, Giove e Saturno) nel suo moto sull'eclittica disegna dei "cappi".

Sembra che il primo a porsi il problema delle retrogradazioni dei pianeti sia stato Platone (427 a.C.–347 a.C.). Secondo una storia riportata da Simplicio (circa 490 d.C.– circa 560 d.C.), Platone pose una domanda agli astronomi greci: "Partendo dal fatto che c'è qualcosa che uniforma e ordina i movimenti, possono questi essere spiegati?". Platone suggerì che l'apparente caotico movimento dei pianeti avrebbe potuto essere spiegato dalla combinazione di movimenti uniformi e circolari centrati sulla Terra.

www.nostronomics.com

La sfida di trovare una spiegazione per i complessi movimenti dei pianeti venne raccolta da un allievo di Platone, Eudosso di Cnido (408 a.C.–355 a.C.) le cui opere sono andate tutte perdute e pertanto abbiamo informazioni su di lui da fonti secondarie. Sembra che i contributi di Eudosso siano stati fondamentali per gli sviluppi successivi della scienza matematica greca. Il suo modello dei movimenti planetari era un vero e proprio modello matematico, intendendo con ciò che esso forniva delle precise prescrizioni espresse in termini matematici, che permettevano di fare dei calcoli circa le posizioni nel tempo dei pianeti. Non si trattava dunque di una semplice descrizione qualitativa intesa semplicemente a dare ragione del fenomeno della retrogradazione.

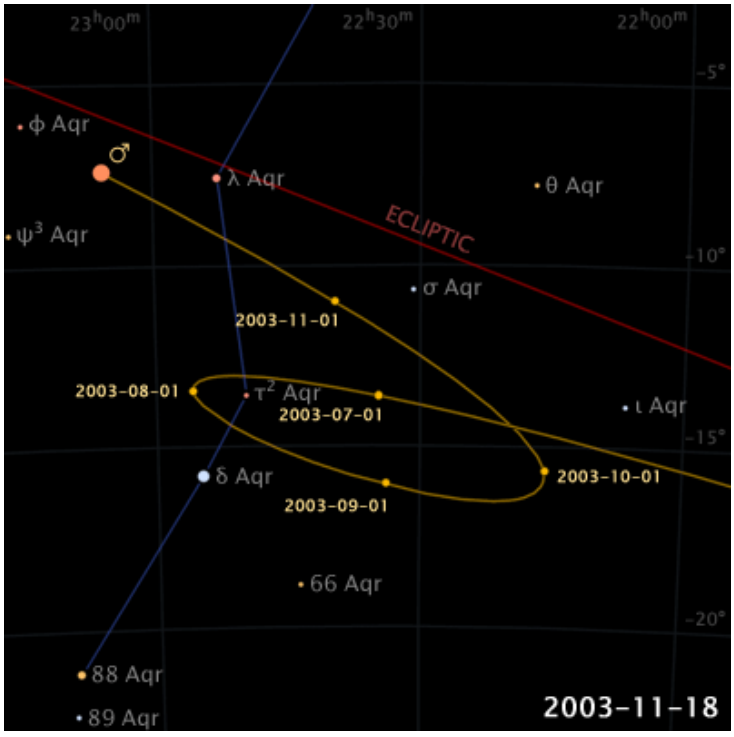

Figura 2.5 | La retrogradazione dei pianeti. Marte tra il giugno e il novembre 2003 nella costellazione dell'Acquario. Il pianeta ha inizialmente un moto da ovest verso est, poi si ferma e torna indietro (moto retrogrado). Infine inverte di nuovo la direzione e riprende il moto diretto. In breve descrive un "cappio". (Wikimedia Commons; user Seav)

Nel suo modello, detto delle *sfere omocentriche*, vi sono diverse sfere aventi un unico centro di rotazione coincidente con il centro della Terra. In ogni sfera vi era un pianeta soggetto ad un moto circolare uniforme differente da quello degli altri. Con questo artificio Eudosso diede spiegazione

www.nostronomics.com

dei movimenti retrogradi e degli stazionamenti dei pianeti: per le stelle fisse attribuì un'unica sfera in rotazione diurna attorno alla Terra immobile, mentre per i pianeti il moto veniva spiegato con una prima sfera che induceva un moto diurno, un'altra per il moto mensile ed infine una terza ed una quarta con diverso orientamento dell'asse per il moto retrogrado. Tenendo conto che il Sole e la Luna ne possedevano tre, si giunge ad un complesso sistema di ben 27 sfere. Il limite maggiore di questo modello cosmologico è la sua inadeguatezza a dare ragione delle variazioni di luminosità dei pianeti nel corso del tempo. Poiché le sfere sono "omocentriche" ovvero centrate sulla Terra, i pianeti dovrebbero trovarsi sempre alla stessa distanza, se così fosse tuttavia, non si capirebbe come mai osserviamo invece variazioni della loro luminosità. Quindi tra le evidenze osservative, cioè le *apparenze*, come si diceva nel linguaggio della scienza ellenistica, ci sono oltre alle retrogradazioni, anche le variazioni di luminosità dei pianeti. La risposta a questo ulteriore problema venne fornita da Apollonio di Perga (262 a.C.–190 a.C.) introducendo il modello ad epiciclo e deferente. Con *epiciclo* (letteralmente, "*sopra il cerchio*") si indica una circonferenza il cui centro è collocato sulla circonferenza di un cerchio di raggio maggiore detto *deferente*, almeno nelle prime versioni della teoria, centrato sulla Terra. La variazione di distanza ottenuta dalla combinazione dei moti dell'epiciclo e del deferente, permetteva di spiegare sia la variazione di luminosità che il moto apparente tra le stelle. Il grande divulgatore del modello a epiciclo e deferente sarà poi nel II secolo d.C. Claudio Tolomeo attraverso la sua opera la *Megále sýntaxis* ("Grande trattato") più noto però con il nome arabo di *Almagesto,* un trattato matematico e astronomico che costituirà per circa mille anni la base delle conoscenze astronomiche islamiche e latine fino a Copernico.

5 | Eliocentrismo?

Entrambi i modelli cosmologici che abbiamo considerato, le sfere omocentriche di Eudosso e quello degli epicicli e deferenti di Apollonio, sono geocentrici, cioè suppongono la Terra ferma al centro di tutti i movimenti. Sappiamo però che esisteva anche una visione eliocentrica, secondo la quale si ipotizzava che fosse la Terra a girare attorno al Sole. Sarà poi Copernico nel XVI secolo a riaffermare queste idee.

Di tutta la ricerca condotta dagli astronomi ellenistici tra il IV secolo a.C. e il I secolo a.C., il periodo che va da Eudosso di Cnido a Ipparco (dopo di cui le ricerche si interrompono), non restano che due opere minori. Si tratta del lavoro di Aristarco di Samo (310 a.C.–230 a.C.) dal titolo

www.nostronomics.com

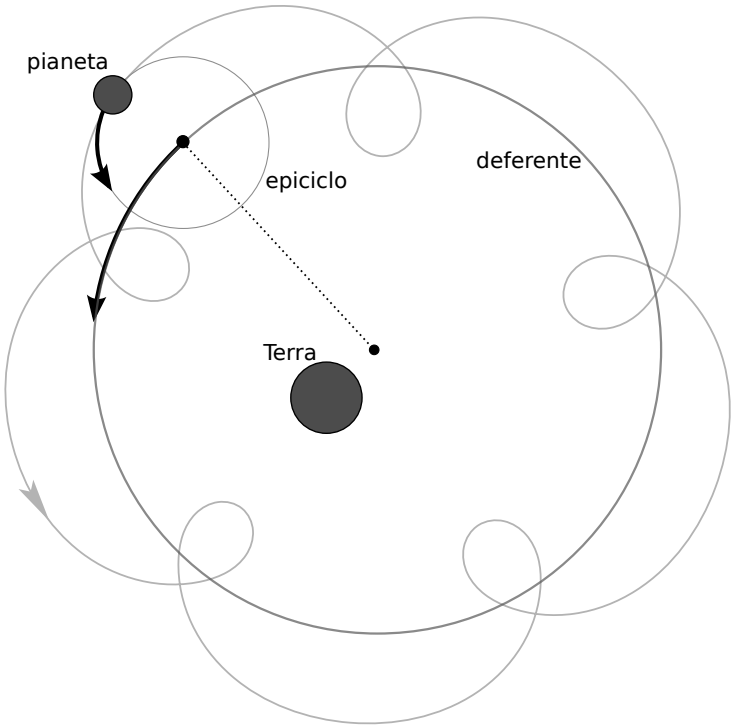

Figura 2.6 | Modello ad epiciclo e deferente di Apollonio di Perga.

Sulle dimensioni e le distanze del Sole e della Luna, e di quello di Ipparco, il *Commentario ai "Fenomeni" di Arato e di Eudosso*. A queste opere si può aggiungere un passo di Archimede in cui è descritta la teoria eliocentrica di Aristarco di Samo. Ogni altra opera di Callippo, Eraclide Pontico, Conone di Samo, Archimede, Apollonio di Perge, Seleuco di Seleucia e Ipparco è andata perduta. È perciò quanto meno azzardato pretendere di avere un'idea corretta di quale fosse il vero stato dell'astronomia ellenistica. Dobbiamo a Lucio Russo il più completo tentativo di ricostruzione della scienza ellenistica. In particolare ha sottolineato come non sia affatto giustificato credere che dell'antichità si siano salvate le opere migliori. Secondo quanto riferito da Archimede, da Plutarco e da Simplicio, Aristarco di Samo aveva sviluppato una teoria che attribuiva alla Terra un moto annuo di rivoluzione attorno al Sole e un moto di rotazione diurno attorno ad un asse inclinato rispetto al piano dell'orbita. Lucio Russo cita un passo di Seneca (4 a.C.–65 d.C.) delle *Naturales quæstiones* (VII, XXXV, 5) in cui afferma che i pianeti che noi osserviamo retrogradare, in realtà non possono invertire il moto perché se lo facessero, se cioè si fermassero davvero nel punto di inversione, finirebbero per cadere gli uni sugli altri.

Perché? Evidentemente verrebbe meno l'argomento della "fionda" che

www.nostronomics.com

possiamo capire facilmente nel caso della Luna, così come viene riferito da Plutarco nel *De facie quæ in orbe lunæ apparet* [9]. Se la Luna si fermasse ecco che cadrebbe sulla Terra. Come mai, allora, nel momento della stazione planetaria un pianeta non cade sulla Terra? La spiegazione che ne dà Seneca è che in realtà la retrogradazione è il risultato di una combinazione di moti circolari, e la stessa inversione della direzione del moto è un inganno, perché i pianeti non invertono affatto la loro direzione. È perciò verosimile che la fonte ellenistica che Seneca sta citando stia applicando anche ai pianeti l'idea dell'equilibrio, riferito da Plutarco nel caso della Luna tra la forza gravitazionale e la forza centrifuga, cioè l'argomento della fionda. Se quindi una considerazione di carattere dinamico conduce Seneca (e la sua fonte) a concludere che la retrogradazione è un "inganno" significa che i pianeti non girano attorno alla Terra. Seneca perciò sta riferendo una teoria eliocentrica che era però sostenuta da considerazioni fisiche circa il ruolo della gravità. È verosimile che la fonte di questa sia Ipparco.

Un altro autore particolarmente significativo è Seleuco di Seleucia (150 a.C.–190 a.C.). Lucio Russo ha condotto un approfondito studio sulle teorie di Seleuco nel suo lavoro *Flussi e Riflussi* [5]. Dagli studi condotti sulle fonti letterarie che riportano frammenti dei lavori di Seleuco, L. Russo mostra come dallo studio di alcune particolarità dei flussi mareali, in particolare il ciclo annuale delle diseguaglianze diurne, cioè delle differenze tra le due alte maree giornaliere, osservabile nel Mare Arabico, Seleuco avrebbe ottenuto una giustificazione dinamica dell'eliocentrismo.

Quest'ultima affermazione richiede una riflessione. Significa che un astronomo del II secolo a.C. era in grado di *dimostrare* che la Terra orbita attorno al Sole. Nemmeno Newton avrà in mano un simile argomento.

6 La macchina di Antikythera

Dell'antichità tutti conosciamo i grandi capolavori dell'arte, dell'architettura e le opere dei filosofi. Faremmo però fatica ad associare a quell'epoca l'idea di tecnologia, intesa come consapevole sforzo organizzato per il raggiungimento di obiettivi quali misurazioni accurate o la costruzione di complessi meccanismi per calcoli astronomici. Abbiamo considerato, per quanto è possibile ricostruire, le difficoltà concettuali e pratiche che l'Egitto tolemaico ha affrontato per ottenere una misurazione, forse molto precisa, delle dimensioni della Terra [15]. Rimane inoltre traccia di singolari reperti archeologici che ci inducono oggi a rivedere molti nostri luoghi comuni circa un disinteresse dei greci verso la tecnologia. A dispetto della scarsità di mezzi, fu possibile conseguire risultati di una precisione scon-

www.nostronomics.com

Etimologia "macchina"
La parola "*macchina*" ha la stessa radice delle parole "*mago*" e "*magia*". Deriva dal Proto-indoeuropeo **maghana-* ("cio che rende possibile"), dalla base **magh-* ("essere in grado", "avere potere").
Questa radice è da confrontare sia con il termine "*mogo*" ("essere capace di" Antico Slavo Ecclesiastico, il più antico linguaggio slavo attestato, noto dal IX secolo d.C. e sviluppato dai santi Cirillo e Metodio), sia con il termine Old English "*mæg*" ("Io posso" da cui deriva "*might*") [2]. L'Old English è la più antica forma conosciuta della lingua inglese, parlata tra il V e i XII secolo, in zone geografiche che costituiscono parti dell'odierna Inghilterra e della Scozia meridionale.

certante. I reperti ritrovati nel 1900 in Grecia a 43 metri di profondità da un gruppo di pescatori di spugne al largo dell'isoletta rocciosa di Antikythera rappresentano il più complesso manufatto di tutta l'antichità, oggi noto come *macchina di Antikythera*. I frammenti furono ritrovati in prossimità del relitto di un'enorme nave risalente al I secolo a.C. e adibita al trasporto di statue di bronzo e di rame. Jacques-Yves Cousteau esplorò nel 1978 il relitto della nave ma non trovò altri frammenti della macchina di Antikythera. Solamente verso metà del XX secolo il manufatto cominciò a rivelare la sua importanza agli studiosi: è parte di una macchina astronomica, che rivela una finezza di progetto ritenuta irraggiungibile per quell'epoca, poiché non è esistito più niente altro di simile per il successivo millennio e mezzo. Si tratta dunque di una creazione discesa dagli studi di Archimede, Ipparco e Posidonio. La macchina di Antikythera è il più antico calcolatore meccanico conosciuto, databile intorno al 150–100 a.C. Si tratta di un planetario, mosso da ruote dentate, che serviva per calcolare la posizione del Sole sull'eclittica, le fasi lunari, i cicli delle eclissi (Metonico, Saros, Callippico, Exeligmos), l'indicazione per i giochi panellenici, forse i movimenti dei cinque pianeti allora conosciuti. I frammenti del meccanismo sono attualmente esposti al Museo Archeologico Nazionale di Atene. Il manufatto è notevole sia per il livello di miniaturizzazione sia per la complessità delle parti e doveva essere azionato con una manovella. Contiene 30 ingranaggi sebbene Michael Wright, il massimo studioso della macchina di Antikythera, abbia realizzato una ricostruzione funzionante della macchina con 72 ruote dentate. La sua ipotesi prevede anche l'esistenza di meccanismi atti a riprodurre le retrogradazioni dei pianeti, e vi sono riferimenti ai pianeti Venere e Marte nelle iscrizioni recuperate sulla macchina. Va detto però che nessuno degli ingranaggi relativo ai pianeti è stato trovato, ma la ricostruzione di Wright fornisce una giustificazione per una ruota dentata che non trova altrimenti alcuna collocazione. Nel quadrante frontale si

www.nostronomics.com

Figura 2.7 | Frammento principale della macchina di Antikythera. (Wikimedia Commons; user Marsyas)

trova anche un *parapegma*, una sorta di istruzioni per l'uso o di effemeride, che era impiegato per segnare il sorgere e tramontare di stelle specifiche.

Sappiamo dalle fonti letterarie che esisteva una tradizione di costruzione di dispositivi di questo tipo, cioè calcolatori di posizioni planetarie. Secondo una testimonianza di Pappo (circa 290 d.C.–circa 350 d.C.) Archimede dedicò un'opera, oggi perduta, *Sulla Sfera*, alla costruzione di planetari e orologi astronomici. Cicerone (106 a.C.–43 a.C.) nel *De re publica*, menziona due macchine in grado di predire le posizione di Sole, Luna e dei cinque pianeti noti. Questi dispositivi hanno una storia interessante. Costruiti entrambi da Archimede, furono portati a Roma dal generale Marco Claudio Marcello dopo la morte di Archimede nell'assedio di Siracusa del 212 a.C. Marcello aveva un grande rispetto per Archimede e una di queste macchine fu l'unica cosa che conservò dell'assedio della città; l'altra venne portata come offerta al tempio di Virtus. I discendenti di Marcello custodirono il manufatto come un cimelio di famiglia. Di questa macchina non rimangono che alcune testimonianze di romani eruditi [16] che la videro e ne compresero l'eccezionale significato, ma senza che alcuno ne tentasse mai più una replica né un disegno tecnico.

Dobbiamo concludere che sia esistita una tradizione di costruzione di meccanismi astronomici risalente per lo meno ad Archimede. Come la totalità degli studi scientifici del mondo ellenistico, anche questa attività si interrompe durante il I secolo a.C. Possiamo solo congetturare su chi sia

www.nostronomics.com

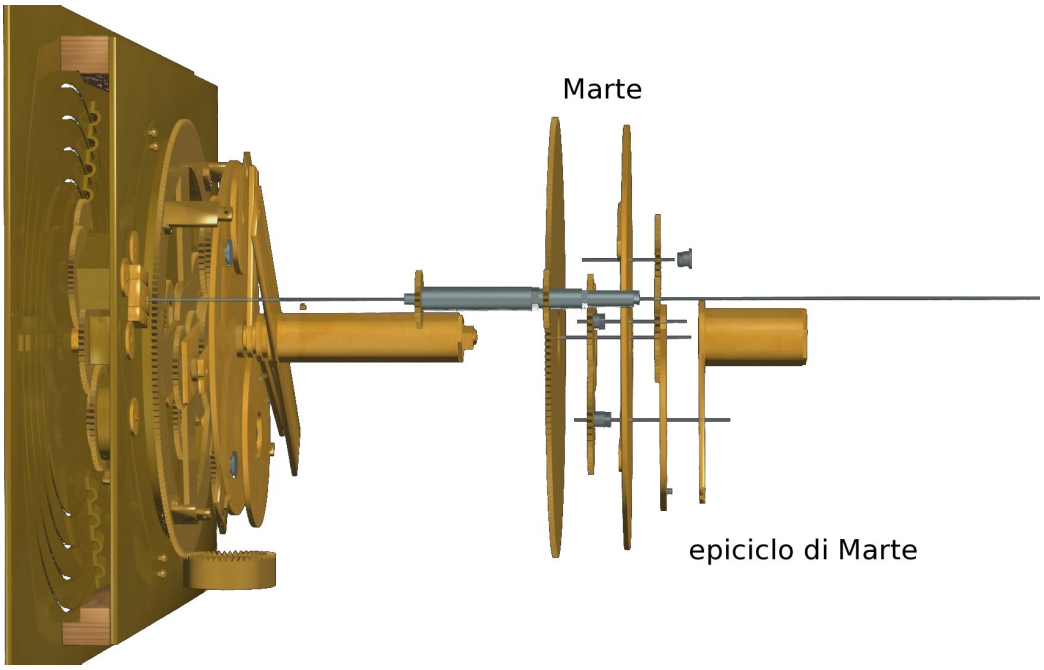

Figura 2.8 | Particolare della ricostruzione della Macchina di Antikythera, con meccanismi relativi al pianeta Marte, secondo Michael Wright. (Autore Mogi Vicentini, www.mogi-vice.com) Video download – Modello virtuale di Mogi Vicentini secondo la ricostruzione di Michael Wright (avi-DivX®, 320 MB).

stato il costruttore della macchina e per quale scopo venne costruita. È plausibile che fosse un dispositivo a scopo illustrativo e didattico, che aveva la funzione di riassumere, in un oggetto grande come una scatola da scarpe, tutta la conoscenza astronomica ellenistica, che si avvalorava dei risultati ottenuti dai babilonesi in due millenni di osservazioni. È significativo rendersi conto che lo stesso intervallo di tempo trascorso dai primi astronomi babilonesi che effettuarono quelle osservazioni e i costruttori della macchina di Antikythera, è pari a quello che separa noi da coloro che la fabbricarono.

7 | Ipparco e la precessione degli equinozi

Molti indizi identificano in Ipparco di Nicea (190 a.C.–120 a.C.) la figura principale nel panorama dell'astronomia ellenistica e più in generale della scienza di quel periodo. Come già ricordato, nessuna delle sue opere, almeno quattordici, si è conservata, a parte il commentario sul poema di Arato da Soli, salvato unicamente grazie alla popolarità del poema. To-

www.nostronomics.com

Pergamene e palinsesti
La pergamena (*membrana* in latino) prende nome dalla città di Pergamo (nell'Asia minore) dove, secondo la tradizione riferita da Plinio il Vecchio, sarebbe stata inventata attorno al II secolo a.C., come sostituto del papiro. Pergamo aveva una grande biblioteca che rivaleggiava con la famosa Biblioteca di Alessandria. Quando l'Egitto smise di esportare il papiro, a causa della concorrenza culturale fra il sovrano egiziano Tolomeo V ed il re di Pergamo Eumene II (196–158 a.C.), Pergamo replicò inventando la pergamena.Nel mondo antico la pergamena non ebbe comunque grande diffusione, a causa della concorrenza del papiro, prodotto molto più abbondante e meno costoso. Soltanto a partire dalla tarda antichità (V secolo) la diffusione della pergamena sembrò aumentare fino a diventare il principale supporto scrittorio durante il Medioevo e prima di essere sostituita definitivamente dalla carta. La scarsità di materia prima portò al riuso altomedievale di più antichi libri manoscritti danneggiati i cui testi venivano cancellati per poter scrivere nuovamente sulle pagine pergamenacee. Questi libri manoscritti sono detti palinsesti (dal greco $\pi\grave{\alpha}\lambda\iota\nu\ \psi\sigma\alpha\tilde{\omega}$, "raschio di nuovo") o, in latino, *codices rescripti*.
Nell'astronomia planetaria, i vecchi crateri lunari, il cui rilievo è scomparso a causa di successive eruzioni vulcaniche, lasciando solo un'ombra dei bordi, sono detti anch'essi palinsesti. Un uso più moderno e comune del termine palinsesto fa riferimento alla scaletta dei programmi di una rete radiofonica o televisiva, che vengono "riscritti" periodicamente. Particolarmente importante è il *Palinsesto di Archimede* il cui codice pergamenaceo originario, nel quale erano scritte alcune opere di Archimede, risale al X secolo. Nel XIII secolo la pergamena fu cancellata per sovrascrivervi un testo di preghiere. Nei secoli successivi il palinsesto fu acquisito dalla biblioteca del monastero del Santo Sepolcro di Gerusalemme. Nel 1899 Papadopoulos Kerameus notò che il palinsesto aveva contenuto originariamente un testo di natura matematica, ancora parzialmente leggibile. Basandosi su tale testimonianza nel 1906 il filologo Johan Ludvig Heiberg esaminò il palinsesto scoprendovi opere di Archimede ancora leggibili. La notizia fece immediatamente il giro del mondo destando subito stupore in quanto Heiberg aveva scoperto anche un'opera di Archimede sconosciuta ossia *Il metodo*. Il palinsesto fu poi sottratto dalla biblioteca del Santo Sepolcro finendo a Parigi nella collezione di un privato. Nel 1998 il palinsesto fu venduto all'asta presso Christie's e acquistato da un anonimo americano. Da allora è iniziato un lungo lavoro di recupero del testo delle opere archimedee con l'uso di moderne tecniche di rilevazione con i raggi X e la luce di sincrotrone.

lomeo nell'Almagesto riporta due risultati già sufficienti per inquadrare la grandezza di Ipparco: la scoperta della precessione degli equinozi, e la probabile misura della distanza della Luna pari a 59 raggi terrestri, con un errore inferiore al 2%, essendo 60 la misura vera. [9]

www.nostronomics.com

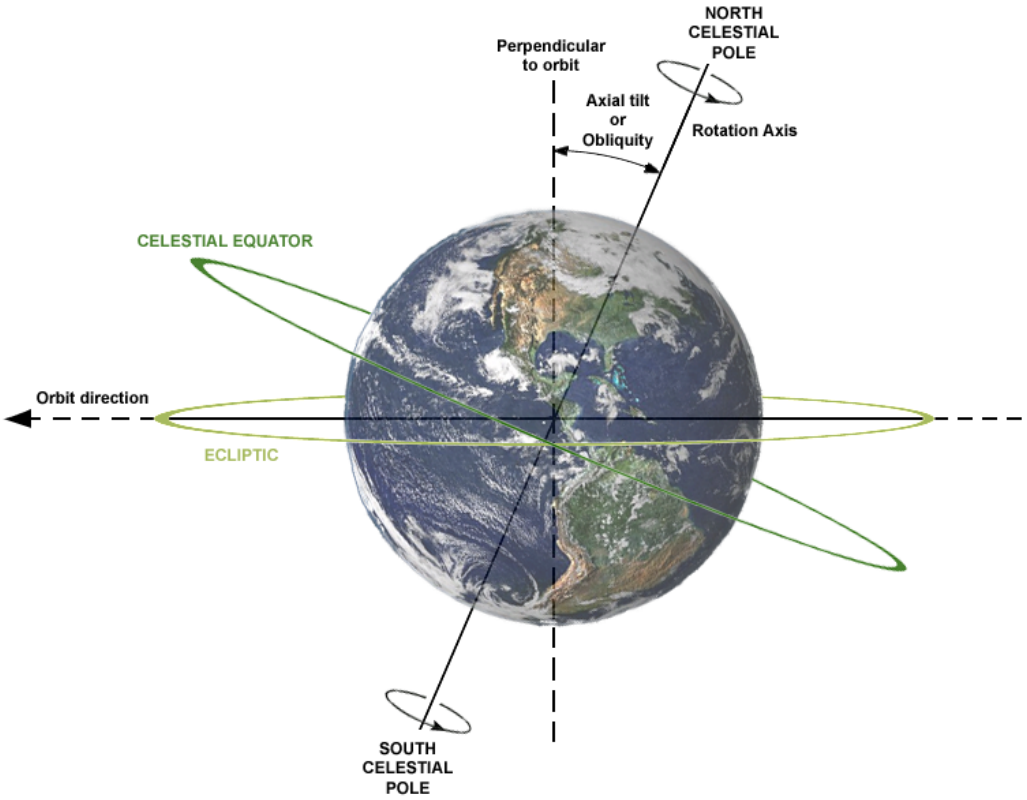

Figura 2.9 | La Terra come sarebbe vista da un osservatore collocato sul Sole. Sono visibili l'asse di rotazione terrestre, l'eclittica (cioè il piano dell'orbita terrestre) e l'equatore celeste. (Wikimedia Commons; user Dna-webmaster)

Particolarmente significativi sono i contributi che Ipparco, secondo diverse fonti, avrebbe fornito allo studio della gravità. A puro titolo di esempio si può ricordare un passo di Plutarco nel *De Facie*. Così scrive a proposito del moto lunare:

> "*Certo la luna è trattenuta dal cadere dallo stesso moto e dalla rapidità della sua rotazione, proprio come gli oggetti posti sulle fionde sono trattenuti dal cadere dal moto circolare.*"

Il significato di questo passo del *De facie*, e delle parti seguenti, è stato analizzato a fondo da Lucio Russo. La citazione suggerisce lo sviluppo di una teoria che unificava lo studio dei corpi celesti con il moto di oggetti sulla terra. Sarebbe quindi stata realizzata una sintesi tra astronomia e balistica. Sappiamo che il principale centro di studi sulla balistica era

www.nostronomics.com

stato Rodi, dove Ipparco aveva lavorato nella seconda metà del II secolo a.C.; inoltre Simplicio riferisce di un'opera di Ipparco dal titolo assai significativo a questo proposito: *Sui corpi 'spinti' verso il basso a causa della gravità*.

Ci troviamo di fronte a qualcosa di completamente differente dalle idee aristoteliche le quali assumevano una totale separazione tra le leggi del moto nei cieli e nelle regioni sublunari. Affermare che tutti gli "Antichi" pensassero in termini di fisica prescientifica aristotelica non trova dunque riscontro nelle fonti letterarie. Questa è piuttosto l'immagine che dell'antichità si faranno gli studiosi delle epoche successive, medioevale e rinascimentale, sulla base dei testi sopravvissuti, mediante i quali non è possibile ricostruire il livello reale delle conoscenze ellenistiche. Ma Ipparco ha compiuto ricerche in campi differenti, con deduzioni logiche assai lucide. Secondo quanto riporta Strabone, l'astronomo aveva dedotto l'esistenza di un continente che separava l'oceano Indiano e l'oceano Atlantico, basandosi sulle differenze fra le maree del Mare Arabico, studiate da Seleuco di Seleucia, e quelle osservate sulle coste atlantiche di Spagna e Francia. La conclusione di Ipparco era che potesse esserci un unico mare dalla Spagna all'Arabia, ma esso doveva essere separato da almeno una terra emersa ancora sconosciuta, cioè il continente americano (Strabone, *Geographia*, Libro I, I.8 e I.9) [17].

Il contributo per cui Ipparco è ricordato è senza dubbio la scoperta della precessione degli equinozi intorno al 130 a.C. Ne diede una spiegazione nella sua opera *Sullo spostamento dei segni solstiziali ed equinoziali*; l'opera è andata perduta, ma il metodo da lui adottato è descritto nell' Almagesto di Tolomeo. Ipparco misurò la longitudine dell'eclittica della stella Spica e di altre stelle luminose durante un'eclissi lunare. Confrontando la sua misurazione con i dati dei suoi predecessori Timocharis di Alessandria (320 a.C.–260 a.C.) e Aristillus (III secolo a.C.), concluse che Spica si era spostata di 2° rispetto al punto equinoziale d'autunno. Inoltre confrontò le lunghezze dell'*Anno Tropico* (il tempo che impiega il Sole per ritornare all'equinozio di primavera) e dell'*Anno Siderale* (il tempo che impiega il Sole per ritornare presso una determinata stella fissa) e rilevò una lieve discrepanza. Ipparco poté quindi concludere che gli equinozi si stavano muovendo, ovvero "precedendo", attraverso lo zodiaco, e che la velocità della precessione era non meno di 1° al secolo.

Oggi possiamo spiegare la precessione degli equinozi come un movimento della Terra che fa cambiare in modo lento ma continuo l'orientamento del suo asse di rotazione rispetto alla sfera ideale delle stelle fisse. L'asse terrestre subisce una precessione a causa della combinazione di due fattori: la forma non perfettamente sferica della Terra (che è uno sferoi-

www.nostronomics.com

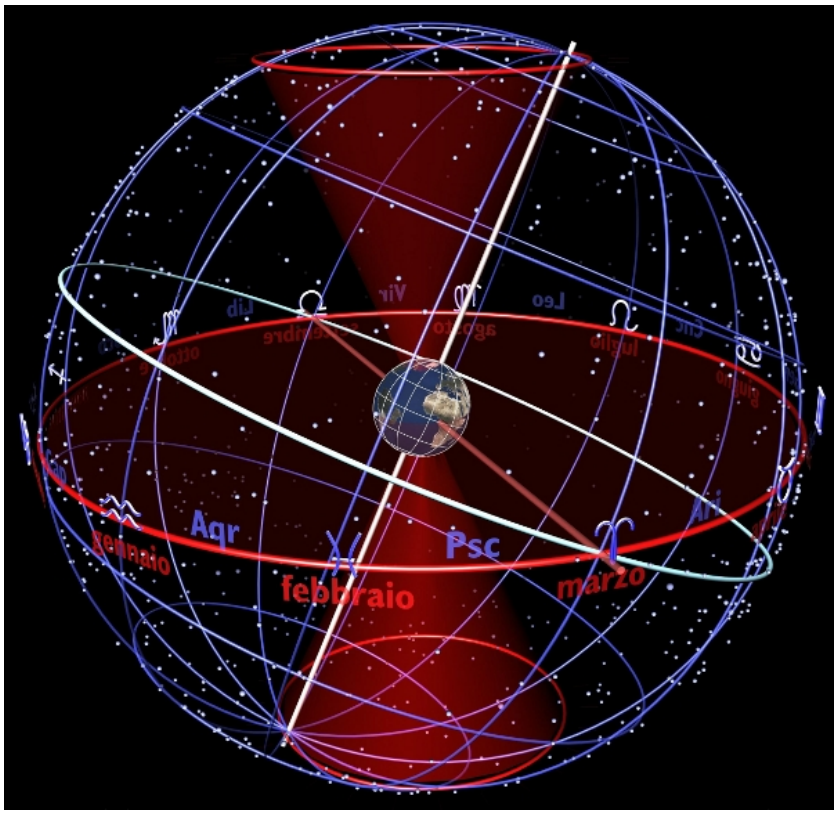

Figura 2.10 | Precessione degli equinozi da un punto di vista geocentrico. Il piano in rosso rappresenta l'eclittica dove si muove il Sole; il cerchio bianco è l'equatore celeste, cioè la proiezione dell'equatore del nostro pianeta sulla sfera celeste. E' rappresentato anche il cono precessionale che rappresenta il movimento dell'asse terrestre in circa 26.000 anni. (Planetario di Milano, Autore Mogi Vicentini, `www.mogi-vice.com`) Video download – La precessione equinoziale (avi-DivX®, 18 MB).

de oblato, sporgente all'equatore) e le forze gravitazionali della Luna e del Sole che, agendo sulla sporgenza equatoriale, producono una *coppia gravitazionale* che tende a raddrizzare la Terra, ossia a far coincidere il piano equatoriale con il piano dell'eclittica. Il risultato finale non è dunque la sovrapposizione del piano equatoriale con l'eclittica, ma è un moto di precessione che compie un giro completo ogni 25.800 anni circa. La precessione non è perfettamente regolare, perché la Luna e il Sole non si trovano sempre nello stesso piano e si muovono l'una rispetto all'altro, causando una variazione continua della forza agente sulla Terra. A causa del movimento precessionale la posizione delle stelle sulla sfera celeste cambia lentamente nel corso dei secoli e dei millenni ed in particolare cambia la stella che si trova in direzione del polo celeste nord. Nel 3000 a.C., l'asse

www.nostronomics.com

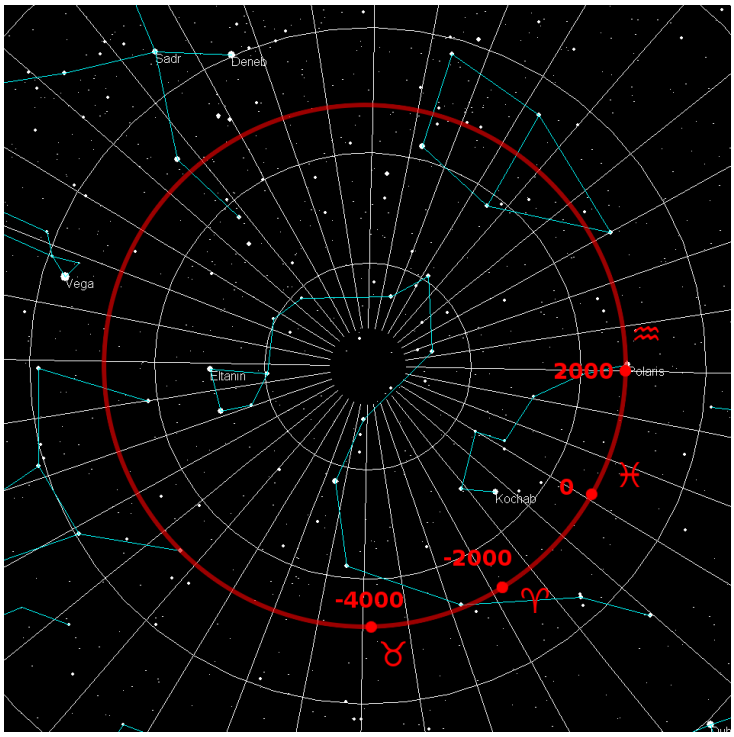

Figura 2.11 | La precessione dell'asse terrestre comporta che esso punti nel tempo in direzioni diverse. Cambia quindi la stella che svolge il ruolo di stella polare. (Wikimedia Commons; user Dbachmann)

terrestre puntava in direzione della stella Thuban nella costellazione del Dragone meno luminosa della Polare attuale. Tra circa 12.000 anni, invece, toccherà alla brillantissima Vega assumere il ruolo di stella polare. Il polo sud si trova in una porzione di cielo particolarmente sgombra di stelle brillanti. L'attuale stella polare sud è σ Octantis che è di magnitudine 5,5 e quindi a malapena visibile ad occhio nudo.

Sulla base di quanto abbiamo considerato nel capitolo 1 circa il fenomeno del megalitismo è legittimo interrogarsi se la ripetuta osservazione del cielo fin da tempi così remoti, non abbia potuto condurre qualche altra popolazione alla scoperta solitamente attribuita a Ipparco di Nicea. La questione è stata a lungo dibattuta e non si può fornire una risposta definitiva, se con il termine "scoperta" si intende il riconoscimento esplicito del fenomeno testimoniata da qualche documento scritto. Nulla di tutto ciò è stato mai ritrovato. Tuttavia presso diverse civiltà esistono tracce di adattamenti di allineamenti astronomici di costruzioni allo scopo di riallineare degli orientamenti resi obsoleti dalla precessione col passare dei secoli. Per esempio il tempio di Luxor in Egitto non si sviluppa lungo una linea ret-

www.nostronomics.com

ta, ma il suo asse è stato lievemente deviato non meno di quattro volte, ogni volta in occasione di un successivo ingrandimento nel corso dei secoli [18]. Purtroppo però benché esistano diverse descrizioni della cerimonia di allineamento dei templi alle stelle, mancano dettagli che permettano di capire come realmente la cerimonia aveva luogo. Non è quindi possibile associare al di là di ogni dubbio l'allineamento dell'asse del tempio di Luxor con un evento astronomico. Un altro esempio significativo è quello dei templi a Medinet-Habu e della cappella di Iside a Dendera. Questi edifici sono allineati con il sorgere eliaco di Sirio nel 54 a.C., tuttavia la cappella fu eretta sulle fondamenta di un edificio preesistente di epoca ramesside il cui asse era allineato al medesimo evento astronomico circa 1.250 anni prima e perciò fu inclinato di circa 2,5 gradi. Tra il 4.000 a.C. e il 2.000 a.C. il punto vernale, cioè il punto di incrocio tra eclittica ed equatore celeste, e dove il Sole si trova all'equinozio di primavera, era situato all'interno della costellazione del Toro. Dal momento che il sorgere del Sole nel punto cardinale est all'alba del giorno dell'equinozio di primavera era particolarmente significativo in Egitto e carico di significati nel mondo agricolo, ecco che Iside viene spesso rappresentata con le corna del toro, simbolo di regalità al cui interno c'è il disco del Sole. Ma a causa del movimento di precessione il Toro perderà nel corso dei secoli il privilegio di ospitare il Sole all'equinozio di primavera e questo entrerà nella costellazione dell'Ariete. Questo fatto ci porta a considerare un'altra questione dai contorni non del tutto chiari: i culti di Mitra.

Prima però riportiamo la posizione di Giorgio de Santillana (professore di storia della scienza al Massachusetts Institute of Technology) e di Hertha von Dechend (della Johann Wolfgang Goethe-Universität di Francoforte) espressa nel loro libro Hamlet's Mill del 1969 [19]. Gli autori sostengono l'idea che tutte le civiltà arcaiche avessero scoperto la precessione molto presto e che questa costituisse la radice comune di molti, se di non tutti, i miti cosmologici esistenti al mondo. Questa tesi è stata sostanzialmente ignorata dalla comunità accademica, ma la mole di dati analizzati in Hamlet's Mill è imponente e il lavoro è senz'altro pionieristico.

Veniamo alla questione del Mitraismo. Mitra è una importante divinità dell'Induismo e della religione persiana. Il nome Mitra però è anche il nome di un dio ellenistico e romano, che fu adorato in una religione misterica dal I secolo a.C. al V secolo d.C. Non è chiaro quanto vi sia in comune fra questi due culti. Alla fine del XIX secolo il contenuto della religione mitraica dell'età imperiale fu ricostruito da Franz Cumont come una combinazione del culto sincretico del Mithra persiano con altre divinità persiane e probabilmente anatoliche [18]. Dopo un importante congresso tenutosi a Manchester del 1971, invece, gli studiosi si sono orientati a sottolinea-

www.nostronomics.com

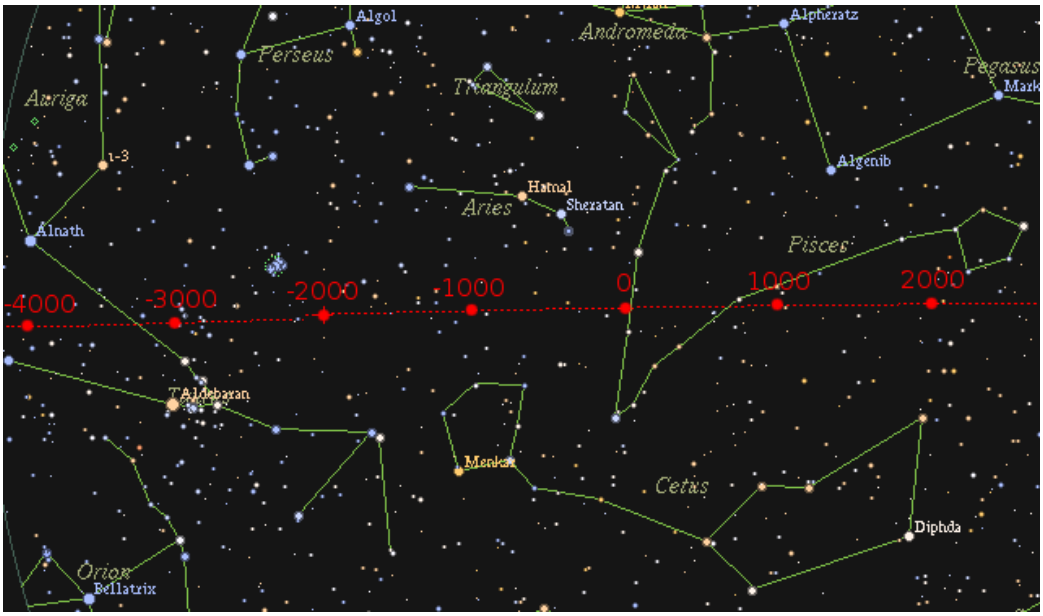

Figura 2.12 | A causa della precessione degli equinozi il punto vernale, cioè uno dei due punti in cui si incrociano l'equatore celeste e l'eclittica, si muove lungo l'eclittica. Qui è mostrato il suo spostamento negli ultimi 6.000 anni. (Wikimedia Commons; user Dbachmann)

re le differenze fra il nuovo culto e quello indo-persiano. Le origini del culto mitraico nell'impero romano non sono del tutto chiare e sarebbero state influenzate significativamente dalla scoperta della precessione degli equinozi da parte di Ipparco di Nicea. Mitra, appunto, sarebbe la potenza celeste capace di causare il fenomeno. Secondo questa interpretazione, alla scoperta della precessione, avrebbe fatto seguito l'identificazione di una divinità corrispondente al nuovo moto celeste, in grado, inoltre di spostare lo zodiaco e quindi addirittura più potente del *fato*. Il Mitraismo sarebbe quindi una religione caratterizzata da una sorta di monoteismo pratico. Il culto si sviluppò forse a Pergamo nel II secolo a.C.; al contrario Ulansey, pioniere in questo campo, ne localizza l'origine in Cilicia nei pressi di Tarso. Il dio entra nella storia greco-romana con in testa il berretto frigio sotto la protezione dei re del Ponto e dei Parti (molti dei quali ebbero il nome Mitridate, cioè "dono di Mitra") . Comunque questo nuovo culto non divenne mai popolare nell'entroterra greco, mentre prese piede a Roma all'incirca nel I secolo a.C., si propagò attraverso tutto l'Impero romano e in seguito fu accolto da alcuni imperatori come una religione ufficiale. Il sacrificio caratteristico di questo nuovo culto, assente nel culto indo-persiano, era la tauroctonia, cioè l'uccisione rituale del toro. I culti di

www.nostronomics.com

Figura 2.13 | Iside e il disco solare tra le corna del toro. Rilievo proveniente da Saqqara; la dea è rappresentata con il faraone Nectanebo II della XXX dinastia (Louvre). (Wikimedia Commons; user Neithsabes)

Mitra erano diffusi in tutto l'Impero Romano ma non al di fuori, ed erano molto popolari presso le legioni. In ogni tempio romano dedicato a Mitra, il *Mithræum*, il posto d'onore era dedicato alla rappresentazione di Mitra nell'atto di sgozzare il toro sacro. Mitra è rappresentato come un giovane, con un cappello frigio e un mantello che gli sventola alle spalle, mentre afferra il toro con forza, portandogli la testa all'indietro e colpendolo al collo con la sua corta spada. La raffigurazione di Mitra è spesso mostrata in un angolo diagonale, col volto girato. Un serpente ed un cane sembrano bere dalla ferita del toro (dalla quale a volte sono rappresentate gocce di sangue che stillano); uno scorpione, invece, cerca di ferire i testicoli del toro. Questi animali sono proprio quelli che danno nome alle costellazioni che si trovavano sull'equatore celeste, nei pressi della costellazione del Toro.

Rimangono molte questioni senza risposta. Per quel che è attinente alla storia dell'astronomia la domanda principale è come sia potuto sorgere nella cultura romana un culto religioso concernente un fenomeno astronomico, cioè l'uscita del punto equinoziale dalla costellazione del Toro e rappresentata simbolicamente dall'uccisione dell'animale, relativo ad un evento vecchio di circa duemila anni. Quali sono state le fonti culturali e astronomiche che lo hanno prodotto?

www.nostronomics.com

Figura 2.14 | Culti mitraici. Il dio Mitra nell'atto di uccidere il toro sacro (tauroctonia). Lato A di un rilievo romano di marmo a due facce del II o III secolo d. C. (Louvre) (Wikimedia Commons; user Jastrow)

8 | La scomparsa del sapere ellenistico

Nel corso di questo capitolo abbiamo considerato lo stato dell'astronomia del periodo ellenistico almeno per quanto è possibile farlo sulla base delle scarse informazioni in nostro possesso. Di tutto il patrimonio della scienza ellenistica tra il IV e il II secolo a.C. ci sono giunte solamente pochissime opere. Abbiamo due possibili atteggiamenti tra loro esclusivi di fronte a questa situazione:

- possiamo credere che siano giunti fino a noi i libri più significativi;
- possiamo credere che un qualche *processo selettivo* abbia scartato alcune opere a vantaggio di altre.

La prima alternativa è quella che implicitamente è sempre stata assunta dalla storiografia, secondo il principio che quanto più un manoscritto era autorevole, tanto più era probabile che venisse copiato e ricopiato, successivamente tradotto e che quindi sopravvivesse nonostante la perdita del manoscritto originale. Una analisi delle fonti antiche rivela che purtroppo le cose non sono così semplici. Euclide fu il più famoso geometra dell'antichità e tuttavia metà dei suoi libri sono scomparsi. Le opere intitolate *Dati*, *Sulla divisione delle figure*, *Ottica* e *Fenomeni*, sono sopravvissute, mentre *Sui luoghi superficiali*, *Porismi*, *Sulle coniche*, *Pseudaria* ed *Elementi di musica* sono andati perduti. Gli *Elementi* si conservarono anche se la qualità degli studi

www.nostronomics.com

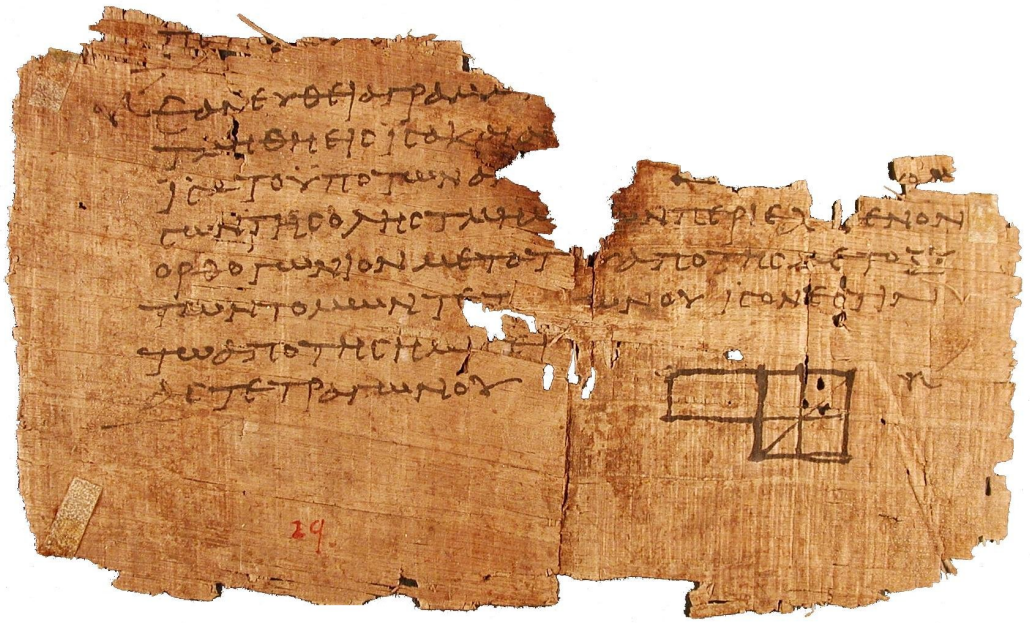

Figura 2.15 | Elementi di Euclide. Papiro Oxyrhynchus (P.Oxy. I 29) datato tra il 74 d. C. e il 125 d. C. Si tratta di un papiro rinvenuto ad Oxyrhynchus, località a 160 km a sudovest del Cairo. Trovato nel corso della spedizione di B. P. Grenfell e A. S. Hunt del 1896-97, attualmente è custodito alla University of Pennsylvania. E' uno dei più antichi frammenti conosciuti dell'opera di Euclide. Il diagramma accompagna la Proposizione 5 del Libro II degli Elementi, assieme ad altri risultati del Libro. (Wikimedia Commons; user Jitse Niesen)

alessandrini andò lentamente scemando, resistettero alla fine della Biblioteca che si colloca nel 415 d.C.quando la matematica Ipazia venne uccisa. Essa aveva lavorato assieme al padre Teone (335 -405 d. C) ad una edizione degli Elementi che divenne la versione ufficiale dell'opera di Euclide. Successivamente gli studiosi arabi rimasero affascinati da quest'opera che venne ritradotta, ricopiata centinaia di volte e arricchita da innumerevoli commenti e sommari. Per molto tempo si era pensato che l'edizione araba standard, basata su quella di Teone, fosse di fatto la più antica delle edizioni greche in circolazione. Ma nel 1808 François Peyrard dimostrò che la copia degli Elementi conservata alla Biblioteca Vaticana e successivamente trafugata dalle armate napoleoniche e portata a Parigi, era anteriore. Nel 1883-84 lo studioso danese J. L. Heiberg pubblicò una ricostruzione molto accurata dell'opera, ripartendo dal testo originale greco del manoscritto vaticano; questa è a tutt'oggi la versione più erudita da cui partono gli studiosi. Nonostante tutte le ricerche di Heiberg non sappiamo quanto il manoscritto vaticano sia più vecchio della redazione di Teone che apparve

www.nostronomics.com

ben sette secoli dopo l'originale di Euclide. La versione vaticana potrebbe essere precedente di secoli di quella di Teone, ma potrebbe comunque aver assorbito secoli di cambiamenti nelle trascrizioni e per quanto ne sappiamo potrebbe differire drasticamente dall'opera uscita dalle mani di Euclide. È possibile che gli Elementi come noi li conosciamo in realtà fossero la parte teorica di un opera più ampia che comprendeva una ulteriore sezione, oggi perduta, relativa alla risoluzione di problemi di calcolo numerico mediante costruzioni geometriche. Esattamente le tecniche di calcolo necessarie a tutta la scienza ellenistica che abbiamo considerato e di cui non esiste alcuna traccia.

In altri casi si sono conservati i testi solo grazie ad una serie di circostanze eccezionalmente fortuite; è ciò che è accaduto per alcune opere di Archimede. Nonostante la fama del loro autore, sembra infatti che diversi scritti di Archimede, tra cui *La quadratura della parabola,* siano sopravvissuti per secoli in un'unica copia: un codice preparato a Bisanzio nel IX secolo. Questo manoscritto, oggi scomparso, appartenne a Federico II di Svevia e dopo la battaglia di Benevento (1266) finì nella Biblioteca Vaticana; esisteva ancora nel XV secolo, quando fu copiato in Francia e in Italia, ma non se ne hanno più notizie nel secolo successivo. Di un altro manoscritto, che conteneva opere diverse e probabilmente era stato donato al papa insieme al primo, si perdono le tracce già nel XIV secolo. Da questo secondo manoscritto era stata derivata una versione latina del trattato sui galleggianti. La sola altra fonte per le opere di Archimede è il *palinsesto*, trovato da Heiberg nel 1906, successivamente perduto e recentemente ritrovato.

Se non avessimo alcuna sua opera, la nostra conoscenza di Archimede si ridurrebbe alle notizie tramandate da autori come Plutarco, Ateneo, Vitruvio ed Erone; saremmo cioè esattamente nelle condizioni nelle quali ci troviamo per esempio per Ctesibio.

Il trapasso tecnologico tra rotolo, codice, pergamena e carta, provoca una necessaria selezione dei testi da riversare nei nuovi supporti, portando a scelte inevitabili dettate dall'interesse e dall'utilità del testo in questione; così molte opere si perdono perché non più riprodotte. Il procedimento proprio della filologia consiste nel tentare di risalire con criteri probabilistici e linguistici alla forma originaria di un testo, inevitabilmente corrotta dalla successione delle copie che lo hanno tramandato dall'antichità fino ad oggi. Le prime tracce di uno studio scientifico dei testi risalgono proprio al periodo ellenistico (IV secolo a.C.) e sono riferibili all'opera dei primi filologi che operavano presso la Biblioteca di Alessandria, attivi nel ricercare la fedeltà delle copie di testi fondamentali per l'epoca come le opere di Omero. Questa attività avrà poi una fioritura nel periodo dell'umanesimo. Quindi esiste un costo che una società deve affrontare nel momento in cui

www.nostronomics.com

decide di dover assicurare un futuro ad un'opera riversandola su un supporto nuovo perché quello a disposizione mostra i segni del tempo. Questo è il punto critico per la sopravvivenza di un'opera; se di copie in circolazione ne è sopravvissuta una sola e se il gruppo dei potenziali copisti ha priorità differenti, ecco che l'opera andrà definitivamente perduta. Verosimilmente è in questo frangente, peraltro molto concreto, dove interessi culturali devono fare i conti con il costo materiale della riproduzione, che si attiva il "*processo selettivo*" della seconda alternativa presentata sopra.

Ma perché dei copisti palatini nella Bisanzio dell'VIII secolo dovrebbero investire risorse per copiare un'opera di Seleuco a loro totalmente incomprensibile? Non pretendiamo da quei funzionari bizantini una passione per la cultura e la custodia del sapere che nemmeno mostrano molti governi contemporanei. Evidentemente non si possono addossare tutte le colpe ai quei poveri copisti per l'interruzione della trasmissione del sapere ellenistico, è piuttosto l'intero clima culturale che è mutato, dal momento che non esistono più i sovrani dei regni sorti sulle ceneri dell'impero di Alessandro Magno che gareggiano nella costruzione di biblioteche. Ora il sapere non è più considerato un vantaggio competitivo. In epoca imperiale romana le antiche biblioteche sono diventate bottino di guerra e i rotoli vengono mostrati ai pochi ospiti delle dimore patrizie. Abbiamo visto un esempio di questo atteggiamento a proposito delle macchine astronomiche di Archimede trasportate a Roma. Il sapere è rispettato e onorato, certamente, ma come qualcosa da contemplare, affascinante per la meraviglia che suscita, estraneo, tuttavia, a concreti interessi. Non dobbiamo però pensare che queste situazioni siano proprie solamente di società del passato dove era estremamente oneroso assicurare la trasmissione del sapere. Qualcosa di assai simile è accaduto nel XX secolo, e ha riguardato ciò che stava davanti agli occhi di tutti, l'industria del cinema di Hollywood. Incredibilmente una gran parte del cinema prodotto nei primi decenni è definitivamente perduto. Un film perso o perduto è un lungometraggio o anche un cortometraggio di cui non esiste più alcuna copia, né negli archivi degli studi né in collezioni private. In molti casi di questi film è rimasto solo del materiale cartaceo come locandine e posters d'epoca, o foto di scena. In rari casi capita che alcuni film perduti vengano ritrovati e restaurati. Molti dei primi film sono andati persi perché la nitrocellulosa utilizzata nelle pellicole era estremamente instabile ed infiammabile. Gli incendi hanno distrutto gli archivi dei film. Per esempio, un incendio nel 1937 distrusse tutti i negativi originali della Fox. In aggiunta a questi fatti, i film possono peggiorare rapidamente se non conservati a temperatura e umidità controllate.Ma la principale causa di perdita dei film muti è stata la distruzione intenzionale, poiché si credeva che un film muto avrebbe

www.nostronomics.com

Figura 2.16 | L'attrice del cinema muto Theda Bara (1885–1955). Dei 40 film che essa fece ne sopravvivono solo tre e mezzo. Si stima che l'80% di tutti i film prodotti tra il 1894 e il 1930 sia andato perduto. James Abbe's photo, 1920. (Wikimedia Commons; user Aylaross)

avuto poco o nessun valore commerciale dopo la fine dell'epoca del muto nel 1930 (il primo film sonoro, *Il cantante di jazz*, risale al 1927). Anche le guerre sono causa di scomparsa dei film, bombardamenti e altro tipo di esplosioni, hanno causato in vari paesi, la perdita degli originali conservati in cineteche o in raccolte pubbliche e private. Impossibile quantificare ciò che è scomparso per sempre durante il secondo conflitto mondiale in Italia, Germania, Giappone e altri paesi duramente colpiti dagli eventi bellici.

La *Martin Scorsese's Film Preservation Foundation* ha stimato che quasi l'80% dei film tra il 1894 e il 1930 (la quasi totalità di essi erano film muti) siano andati persi. Colpisce in modo particolare il caso dell'attrice americana Theda Bara: dei 40 film che essa fece, solamente tre e mezzo sopravvivono. Andò anche peggio alla sua rivale vamp della Fox, Valeska Suratt: nessuno dei molti film che fece negli Studios si è salvato. Più tipico è il caso di Clara Bow: dei sui 57 film, 20 sono completamente perduti e altri cinque sono incompleti.

Robert A. Harris, della National Film Preservation Foundation ha dichiarato [20]:

> *"La maggior parte dei primi film non sopravvisse a causa della corsa all'arricchimento degli studios. Non si è mai pensato di preser-*

www.nostronomics.com

vare queste pellicole. Avevano semplicemente bisogno di spazio e i materiali necessari alla loro conservazione erano costosi."

Queste parole non vi ricordano la storia che abbiamo sentito a proposito della scienza ellenistica? Dovrebbe essere quindi chiaro che la conservazione di un testo non è garantita nemmeno dalla sua autorevolezza, dal momento che questa muta nel tempo. Eppure il lavoro di ricostruzione iniziato da Lucio Russo attraverso un minuzioso confronto delle fonti letterarie ha suscitato una certa indifferenza da parte di alcuni ambienti perlopiù di storici della scienza professionisti. La critica più comune potrebbe essere riassunta nei seguenti termini: "se fosse davvero andata così, ce ne saremmo sicuramente accorti." Detto altrimenti se il quadro che ci siamo fatti della scienza antica dopo secoli e secoli di riscoperta dei classici greci e latini fosse gravemente lacunoso, verosimilmente le incongruenze si sarebbero già rese evidenti. Sembrerebbe tuttavia che la letteratura classica sia punteggiata di riferimenti, talvolta molto espliciti, relativi a conoscenze scientifiche radicalmente differenti dalle concezioni pre-scientifiche di Aristotele. Ma questi testi non sono stati finora sottoposti ad una valutazione critica, né incrociati tra loro. Da quanto comincia ad emergere dalla ricerca delle convergenze tra le fonti sopravvissute, sembra che si debba abbandonare una interpretazione della storia della scienza, e più in generale della civiltà antica, che si potrebbe definire *primitivista*. Secondo questa lettura, il culmine della riflessione sulla natura iniziata con i filosofi della scuola di Mileto sarebbe rappresentato dal pensiero di Aristotele, mentre la tecnologia nell'antichità avrebbe avuto un ruolo del tutto marginale, al più rappresentato da prototipi. Affinché questa interpretazione della storia sia coerente, il primitivismo deve inevitabilmente far proprio il principio secondo cui la trasmissione del sapere sia stata sostanzialmente efficiente nel conservare le opere più significative: di conseguenza oggi avremmo a disposizione il meglio di quella produzione culturale.

Le cose tuttavia sembrano essere andate in modo molto diverso. Durante il medioevo e nella prima età moderna lo scopo principale dell'attività intellettuale consisterà, spesso inconsapevolmente, nel lento recupero dei risultati della scienza ellenistica. Lo dimostrano, tra l'altro, i diversi "rinascimenti" che fioriranno presso le civiltà che avranno accesso almeno ad alcune delle opere prodotte nel periodo ellenistico. Ma prima dobbiamo passare attraverso il collasso dell'Impero Romano d'Occidente.

www.nostronomics.com

3 Tavole planetarie

1 | Il tentativo di Boezio

L'anno 476 segna la caduta di quel che rimaneva dell'Impero Romano d'Occidente. Una volta si attribuiva un grande significato a questa data che segnava lo spartiacque tra l'Antichità e il Medioevo. Odoacre (c. 434–493) diventa il primo sovrano barbarico che abbia regnato su Roma. Ma sarebbe sbagliato pensare che la deposizione dell'ultimo imperatore romano, un ragazzo di nome Romolo Augustolo, abbia segnato uno shock per i contemporanei in Italia e altrove. Semplicemente ad Odoacre non pareva più necessario che l'Occidente, in quelle condizioni, avesse ancora un imperatore e così indusse il senato a spedire le insegne imperiali a

Costantinopoli, la capitale dell'Impero Romano d'Oriente. Per sé il nuovo sovrano chiedeva il titolo di "patrizio" che era già stato di Oreste, il generale romano padre di Romolo Augustolo ed ex segretario di Attila. Le monete d'oro coniate in Italia continuavano ad avere impresso il nome dell'imperatore d'Oriente Zenone anche dopo il 476. [21]

Fu Teodorico (493–526) re degli ostrogoti a fondare il primo regno romano-barbarico sul territorio italiano. Il dominio ostrogoto durò solamente cinquant'anni. In un'epoca in cui il bilinguismo greco-latino, caratteristico dell'ellenismo cominciava a scomparire, i romani colti accettarono di collaborare con il re ostrogoto in qualità di traduttori. Tra questi ci fu Anicio Manlio Severino Boezio (c. 480–524) che mise in cantiere un progetto di traduzione in latino dei classici della filosofia greca. Il suo fu un disperato tentativo di assicurare un futuro alle opere della cultura greca prima che fosse troppo tardi. Si propose quindi di tradurre e commentare tutte le opere di Aristotele e Platone che fosse riuscito a procurarsi. Fu però condannato a morte da Teodorico per aver denunciato delle ingiustizie quando la sua impresa era appena cominciata. Quel che riuscì a fare, tuttavia, fu di notevole importanza. Tradusse e commentò diversi scritti greci di logica e li presentò assieme a scritti di autori latini come Cicerone; in questo modo gli studiosi dei secoli successivi poterono disporre di un *corpus* di scritti di fonti diverse che potevano confrontare tra loro, esercitandosi in una analisi critica. Boezio con la sua opera codificò la tradizione matematica ereditata, in quella che sarebbe poi diventata la struttura degli studi scientifici nelle università medioevali organizzata nelle discipline del *Quadrivium,* (letteralmente "quattro vie") che comprendeva Aritmetica, Geometria, Astronomia, Musica. [22] A queste si aggiungevano anche quelle del *Trivium*, relativo alle discipline filosofico-letterarie, cioè la Grammatica (ovvero la lingua latina), la Retorica e la Dialettica cioè la filosofia. Boezio, però, aveva una conoscenza della matematica piuttosto limitata e i suoi scritti sull'argomento sono di scarsa qualità e sebbene il suo testo di geometria, *De institutione geometrica,* non sia sopravvissuto, non ci sono ragioni per credere che fosse migliore delle opere giunte fino a noi. Anche il trattato di astronomia *De institutione astronomica* è andato perduto. Nonostante questo i suoi testi di matematica furono i migliori a disposizione e vennero impiegati per molti secoli in un periodo in cui la cultura matematica in Europa aveva raggiunto un minimo spaventoso. L'*Arithmetica* di Boezio è basata sui lavori di Nicomaco di Gerasa (c. 60 d.C.–c. 120 d.C.) importante autore di formazione pitagorica. Essa costituì per gli scolari medioevali la base per gli studi di teoria dei numeri. Fino al XII secolo le opere di logica di Boezio rappresentarono la base della formazione degli studiosi e vennero complessivamente indicate come *Logica vetus,* cioè la

www.nostronomics.com

Etimologia "matematica"
Il termine "*matematica*" deriva dal latino "*mathematica*", a sua volta proveniente dal greco antico "*mathematike tekhne*" ("scienza matematica"), fem. sing. di "*mathematikos*" (agg. "relativo alla matematica, scientifico") da "*mathema*" ("scienza, conoscenza, conoscenza matematica"). Esso è correlato a "*manthanein*" ("imparare") formato dalla base Proto-indoeuropea **mn-/*men-/*mon-* ("pensare, avere la mente stimolata"). Questa base è da confrontare con il greco "*menthere*" ("interessarsi"), con il lituano "*mandras*" ("completamente sveglio"), con "*madru*" ("saggio" in Antico Slavo Ecclesiastico), e infine con il gotico "*mundonsis*" ("guardare").
La lingua gotica, estinta dal XVI secolo, è la sola lingua germanica orientale di cui si siano rinvenuti testi. Tra le altre lingue che si suppongono appartenere alle germaniche orientali vi sono la lingua vandalica, la lingua burgunda e la lingua gotica di Crimea. Si crede che il gotico di Crimea sia sopravvissuto fino al XVIII secolo.

Gift Shop! Nostromics Store – Math

logica antica. Se la deposizione di Romolo Augustolo non destò particolare clamore, le cose andarono diversamente nei decenni successivi. L'Italia, cuore dell'Impero Romano, stava per entrare nella più catastrofica guerra della sua storia: la *Guerra Gotica* (535–553). Si trattò di un lungo conflitto che contrappose l'Impero Bizantino agli Ostrogoti. L'imperatore d'Oriente Giustiniano I mirava a riconquistare all'impero le province italiane e altre regioni limitrofe. Il suo sogno, la *Restauratio Imperii,* era di riportare l'Impero Romano al suo vecchio splendore, sotto la guida di un unico imperatore e con la sede del governo a Costantinopoli. Da questo momento in poi la *Pars Orientalis Imperii Romani*, cioè l'impero romano d'Oriente, verrà denotata da parte degli storici con l'aggettivo "bizantino". Il termine "bizantino", derivato da Bisanzio, l'antico nome greco della capitale imperiale Costantinopoli, non venne mai utilizzato durante tutta la durata dell'impero (395–1453): i bizantini si consideravano $Ρωμαίοι$ (Rhōmaioi (romei), ovvero romani in lingua greca), e chiamavano il loro stato $Βασιλεία\ Ρωμαίων$ (Basileia Rhōmaiōn, cioè Regno dei Romani) o semplicemente $Ρωμανία$ (Rhōmania). È interessante quindi notare che i bizantini chiamavano se stessi "romani" anche se di lingua greca, e che i musulmani conquistandone i territori, fondarono il sultanato di "Rum", mentre gli europei occidentali venivano definiti "latini" (dalla lingua usata). In realtà non c'è accordo fra gli storici sulla data in cui si dovrebbe cessare di utilizzare il termine "romano" per sostituirlo con il termine "bizantino". La data prevalentemente accettata dal mondo accademico come inizio del periodo bizantino

www.nostronomics.com

Figura 3.1 | Macrobius Commentarii in Somnium Scipionis (V secolo). Diagramma che illustra le eclissi solari e lunari. Pergamena (ca. 1150). Opere quali quelle di Macrobio permisero di conservare durante il Medioevo europeo concetti fondamentali come la sfericità della Terra e le sette sfere dei pianeti. (Wikimedia Commons; user Leinad-Z)

è tuttavia il 610, anno dell'ascesa al trono di Eraclio I di Bisanzio. Costui modificò notevolmente la struttura dell'Impero, proclamò il greco lingua ufficiale in sostituzione del latino e assunse inoltre il titolo imperiale di *basileus*, al posto di quello di *augustus* usato fino a quel momento.

La trasmissione della cultura ellenistica al mondo islamico e poi latino, il ruolo dei bizantini nella civilizzazione dei popoli slavi, lo scisma della cristianità, le crisi balcaniche e mediorientali, fanno sì che la vicenda dell'Impero Bizantino, lungi dall'essere un evento lontano e dimenticato, appaia come una importante chiave di lettura dell'attualità. Ma fin dall'inizio della storia bizantina i rapporti tra "latini" e "rhōmaioi" furono difficili. Quando i romani italiani si accorsero che i romani d'oriente venuti da lontano per liberarli dagli ostrogoti erano anch'essi stranieri, sia perché parlavano una lingua sconosciuta, il greco, sia perché avevano un aspetto estraneo, (le truppe bizantine erano perlopiù reclutate in Asia Minore), non li considerarono affatto come "fratelli" venuti a liberarli. [21] La Guerra Gotica lasciò l'Italia devastata, Roma subì quattro assedi e passò di mano cinque volte. Fu in questi ripetuti assedi che l'Urbe perse il

www.nostronomics.com

suo grandissimo patrimonio architettonico. Si stima che circa trentamila statue bronzee siano state fuse soltanto durante questi assedi e che circa 250 mila colonne di marmo siano cadute per esser riusate come rinforzo alle porte cittadine o addirittura come arma. Al termine di quattro assedi disastrosi, Roma era l'ombra di se stessa; all'interno dell'enorme città, che aveva avuto 1 milione e mezzo di abitanti, 15 mila persone vagavano smarrite, perlopiù nobili pagani scampati alla morte, il popolo sopravvissuto e la corte del Papa. La peste iniziò a serpeggiare nell'immensa città, molte zone vennero chiuse con muri, abbandonate e disabitate. Lo storico bizantino Procopio parla di quindici milioni di morti; gli storici moderni stimano che la popolazione italiana sia crollata da 7 milioni a 2,5 a causa delle carestie ed epidemie successive alla guerra. La ripresa demografica ed economica dell'Italia inizierà timidamente a profilarsi solo in età carolingia (IX secolo) e potrà dirsi completata non prima della nascita e dello sviluppo dei primi comuni (XI secolo).

Si comprende come in questo contesto politico ed economico potesse essere difficile qualunque attività intellettuale e lo stato delle opere prodotte nel periodo attorno alla caduta dell'ultimo imperatore romano ne è eloquente testimonianza. Il *De nuptiis Philologiæ et Mercurii* del cartaginese Marziano Capella (c. 365–440) era una allegoria di un matrimonio dove sette ancelle presentano un compendio dell'astronomia e delle altre sei arti liberali. Ambrogio Teodosio Macrobio, anche lui originario dell'Africa del nord e vissuto all'inizio del V secolo, fu autore di un commento al *Somnium Scipionis* di Cicerone. Comprendeva anche un semplice trattato di astronomia dove venivano esposte nozioni elementari come la sfericità della Terra collocata al centro dell'universo e la presenza delle sette sfere planetarie, racchiuse dalla sfera delle stelle fisse. Opere come quella di Macrobio permisero di conservare concetti fondamentali quali la sfericità della Terra e la sua collocazione al centro di un universo sferico, oltre alla distinzione tra i sette "pianeti" e le stelle fisse. Ma la conoscenza dell'astronomia verso la seconda metà del I millennio presso i latini era a livelli assolutamente primitivi. [22]

Nello stesso anno in cui nacque Boezio, o forse in una data poco lontana, venne al mondo un altro personaggio anch'esso destinato a cambiare il volto dell'Europa nei secoli successivi: Benedetto da Norcia (480–547), fondatore dell'ordine dei benedettini e del monachesimo occidentale. All'interno dell'abbazia di Montecassino, da lui fondata nel 529, funzionò uno *scriptorium* attivo fino al XV secolo. Lo scriptorium è quella parte del complesso monastico dedicata alla copiatura dei manoscritti, solitamente in stretta connessione con una biblioteca. Spesso tali ambienti ebbero grande importanza culturale sia per l'azione di salvaguardia dell'antica cultura

www.nostronomics.com

latina sia perché costituirono ambiti di pensiero e sviluppo di nuova cultura. A Montecassino Benedetto visse fino alla morte, ricevendo l'omaggio di alcune personalità come Totila re degli Ostrogoti, che il monaco ammonì. La Regola dell'Ordine di san Benedetto o *Sancta Regula*, dettata da San Benedetto da Norcia nel 534, consta di un Prologo e di settantatre capitoli e prevede un tempo per la preghiera ed uno per il lavoro e lo studio (*Ora et Labora*). La regola specifica le varie mansioni e attività dei monaci, tra le quali quella della scrittura e lo studio non solo delle Sacre Scritture, ma anche di scienza ed arte. Scrivere, che si copiasse o meno, era considerata un'attività manuale, e quindi umile o degradante secondo la cultura antica. Fin dal VI secolo le prime regole monastiche inclusero la scrittura tra le attività che l'uomo umile doveva compiere per condurre una pia vita. Le biblioteche benedettine hanno svolto l'importantissima funzione di preservare, dopo la caduta dell'Impero Romano, le conoscenze antiche raccogliendo dalle rovine quello che veniva recuperato.

Con i Benedettini la cura del lavoro manuale ed intellettuale creò nel Medioevo una situazione unica ed irripetibile: studiando i testi antichi essi salvarono nozioni ormai dimenticate in campo scientifico ed agricolo che misero a frutto nei loro monasteri e, per imitazione, si diffusero anche fuori. Ad esempio, è tutta da ascrivere a merito dei Benedettini la rinascita medioevale dell'interesse per la letteratura medica e la coltivazione di erbe medicinali per uso terapeutico. Agli insegnamenti del passato i monaci aggiunsero la pratica della medicina come dovere etico del cristiano. Nella Regola si impone che almeno due monaci in ogni convento siano addetti alla cura degli infermi negli stessi locali del convento in una zona non frequentata dai frati. Esemplare è in proposito il caso di Salerno dove, in un monastero nei pressi della città, i Benedettini già nell'820, avevano istituito un'infermeria aperta anche all'esterno e così contribuirono alla nascita della famosa *Schola medica salernitana*. Questa è stata la prima e più importante istituzione medica d'Europa nel Medioevo fondata nel IX–X secolo; come tale è considerata l'antesignana delle moderne università. La Schola continuò la tradizione medica greca e latina fondendola con quelle araba ed ebraica. L'incontro di differenti culture portò ad una sintesi e comparazione di differenti tradizioni mediche. Ciò è evidenziato dalla leggenda che narra l'origine della scuola che venne fondata da quattro maestri: il giudeo Helinus, il greco Pontus, l'arabo Adela e il latino Salernus. Da notare che nella *Schola* le donne erano ammesse sia come insegnanti sia come studenti. Trotula de Ruggiero (XI secolo) fu la più nota tra le *mulieres salernitanæ* ovvero quella cerchia di studiose che insegnavano o erano attive intorno alla Scuola medica di Salerno. Nata a Salerno dalla nobile famiglia De Ruggiero, Trotula ebbe l'opportunità di intraprendere studi superiori e

www.nostronomics.com

di medicina. Fu celebre in tutta Europa durante il medioevo, in particolar modo per gli studi legati alla sfera femminile.

All'attività degli amanuensi si lega il personaggio romano Flavio Magno Aurelio Cassiodoro (490–583), che fondò a Squillace, in Calabria, il monastero di Vivario dedicato allo studio e alla scrittura. Qui istituì uno scriptorium per la raccolta e la riproduzione di manoscritti, modello a cui successivamente si ispirarono i monasteri medievali. Quello di *Vivarium* è il primo scriptorium di cui si abbia precisa testimonianza storica. Faceva parte del complesso monastico costruito da Cassiodoro nel VI secolo. Da persona colta qual era, Cassiodoro, nelle sue *Istituzioni*, raccomandava la più grande cura nella trascrizione dei testi sacri. Ma neppure dimenticò, forse proprio per la sua educazione classica, di far copiare testi di autori pagani. Alla veneranda età di 92 anni Cassiodoro redasse il trattato *De orthographia.* Il centro scrittorio fu attivo almeno fino al 630.

Bisogna tuttavia considerare la composizione del capitale letterario che i Benedettini potevano avere a disposizione da ricopiare negli *scriptoria*. Questo era essenzialmente proveniente dalla tradizione tardo imperiale che, come abbiamo visto, era del tutto estranea al pensiero scientifico, anzi, in oltre un millennio, la romanità non aveva prodotto un solo matematico. Quindi in Occidente non esistevano copie in latino di Archimede, Euclide, o Ipparco, ma solamente dei commenti divulgativi, come nel caso di Cleomede e della suo opera *Coelestia* che abbiamo considerato a proposito di Eratostene. Per quanto il Monachesimo benedettino abbia contribuito alla sopravvivenza della civiltà non poteva salvare quello che non aveva ricevuto in eredità, cioè la scienza ellenistica. Ma nelle regioni orientali di quel che un tempo fu l'Impero Romano le cose andranno diversamente.

Nella prima metà del VI secolo si ebbe infatti nel mondo bizantino un certo risveglio di interesse verso la scienza ellenistica. Tra gli esponenti maggiori vi sono Simplicio (c. 490–c. 560), Giovanni Filopono (490–570), Eutocio (c. 480–c. 540), Antemio di Tralle (c. 474–534) e Isidoro di Mileto (442–537), tutti allievi di Ammonio di Ermia (440–523). [9] Eutocio scrisse un commento ad alcune opere di Archimede ed Apollonio. Giovanni Filipono si interessò di matematica e scrisse un'opera sull'astrolabio. Criticando la spiegazione aristotelica che attribuiva il moto all'effetto dell'aria, individuò la causa del movimento in una *vis cinetica* posseduta ad esempio da una freccia al momento del lancio. Filopono, autore di scritti che furono all'origine della teoria medievale dell'impeto, è noto soprattutto come commentatore di Aristotele, al pari di Simplicio. Isidoro di Mileto fu un architetto ed assieme ad Antemio di Tralle progettò la basilica di Santa Sofia a Costantinopoli; pubblicò un'edizione delle opere di Archimede e scrisse dei commenti ad Erone.

www.nostronomics.com

In questo ambiente sono note alcune opere ellenistiche sconosciute agli studiosi alessandrini dei primi secoli della nostra era. Ad esempio Simplicio è l'unica nostra fonte esplicita sull'opera perduta di Ipparco relativa al moto dei gravi. Forse lo spostamento del baricentro culturale da Alessandria a Bisanzio aveva portato all'acquisizione di opere conservate in Oriente, che non erano mai entrate nella tradizione alessandrina. Va però detto che il livello di originalità scientifica degli autori appartenenti a questo "rinascimento bizantino" è pressoché nulla. [9]

Trattando il moto dei gravi, Filopono respinge l'idea aristotelica che i

Il misterioso *Fuoco greco*

Con il termine *Fuoco greco* (greco ὑγρόν πῦρ — igrón pyr) si indicava un'arma incendiaria impiegata dai bizantini nelle battaglie navali e negli assedi. Questa miscela presumibilmente di pece, salnitro, zolfo, nafta e calce viva, aveva la caratteristica, sconcertante per l'epoca, di continuare a bruciare a contatto con l'acqua. La sua invenzione era attribuita ad un greco originario della città di Eliopolis di nome Callinico. Questa tecnologia fu responsabile di molte vittorie decisive per la sopravvivenza dell'Impero Bizantino, in particolare durante il secondo assedio di Costantinopoli da parte degli Arabi musulmani, condotto fra il 717 e il 718. Le informazioni in nostro possesso sul Fuoco greco sono esclusivamente indirette, basate su manuali militari bizantini e altre fonti storiche secondarie come gli scritti di Anna Comnena (1083–1153), storica e principessa bizantina, e sui racconti di alcuni cronisti europei sovente inaccurati. Il Fuoco greco è di solito considerato un'invenzione del VII secolo d.C., ma alcune fonti ne attestano l'uso già nel V secolo d.C. La formula della miscela che componeva il Fuoco greco non ci è pervenuta; essa era nota soltanto all'imperatore e a pochi artigiani specializzati ed era custodita tanto gelosamente che la legge puniva con la morte chiunque avesse divulgato ai nemici questo segreto. Gli ingredienti e il processo di fabbricazione e sviluppo del Fuoco greco sono il segreto militare meglio custodito della storia. Così strettamente, che la composizione chimica della miscela rimane ancora oggetto di speculazione. Quel che è chiaro è che il Fuoco greco è meglio compreso se interpretato come un complesso sistema di armamento costituito da molti componenti che dovevano operare insieme per renderlo efficace. Questo comprendeva perciò non solamente la formula della sua composizione, ma anche navi, i *dromoni* bizantini, specializzate nell'uso. Il dispositivo usato per preparare la sostanza riscaldandola e pressurizzandola era un sifone che lanciava la miscela incendiaria ed era utilizzato da una squadra di specialisti: i *siphōnarioi.* Le informazioni sull'intero sistema d'armamento erano altamente suddivise, con operatori e tecnici a conoscenza dei segreti relativi ad un solo componente, garantendo così la sicurezza. Ne è prova il fatto che quando i Bulgari presero le città di Mesembria e Debeltos nell'814, catturarono 36 sifoni e scorte della sostanza, ma furono incapaci di farne uso. ▷

www.nostronomics.com

Figura 3.2 | Nave Bizantina della fine dell'XI secolo armata di Fuoco greco. Madrid, Manoscritto Skylitzes, (XII secolo.) (Wikimedia Commons; user Gun Powder Ma)

E' verosimile che questa misteriosa tecnologia derivi degli studi della chimica del periodo ellenistico. Questi studi vengono solitamente classificati come "alchimia", tuttavia la prima documentazione esistente riguardante ciò che si designa con alchimia risale agli scritti di Zosimo di Panopoli un alchimista del IV secolo d.C. Con tale termine si intende una tradizione sincretica che comprende filosofia naturale greca, magia egizia, riferimenti alle religioni ebraica e cristiana, procedimenti chimici empirici. Ma all'epoca di Zosimo la scienza ellenistica era ormai scomparsa e sostituita da filosofie irrazionalistiche. Ben poco è rimasto delle opere più antiche e i tentativi di ricostruzione della chimica ellenistica sono resi difficili dal confluire di essa nell'alchimia dei secoli successivi intrisa di connotazioni esoteriche. E' lo stesso percorso seguito anche dall'astronomia che decade al livello di strumento dell'astrologia. Qualche indicazione si può però trarre dai papiri ritrovati. Nel papiro di Leyda risulterebbe che i chimici alessandrini dovevano avere almeno in parte chiaro il concetto di acido.

corpi più pesanti cadano più in fretta e descrive l'esperimento che è stato a lungo attribuito a Galileo Galilei (1564–1642) e al suo precursore Stevino (1548–1620): lasciando cadere insieme corpi di diverso peso, questi raggiungono il suolo contemporaneamente. Tale circostanza lo ha fatto apparire un precursore, rispetto ai due scienziati moderni, sulla strada della comprensione e dell'affermazione del significato del *principio di equivalenza,* in realtà la sua fonte è con ogni probabilità Ipparco. Essendo questi l'ul-

www.nostronomics.com

timo scienziato ellenistico che, per quel che ne sappiamo, si sia occupato del moto dei gravi, se il risultato riferito da Filopono gli fosse stato ignoto, sarebbe ben difficile spiegare perché fosse noto a Lucrezio (c. 99 a.C.–c. 55 a.C.) (*De rerum natura*, II 225–239). É la stessa situazione che abbiamo visto a proposito delle fonti del passo di Seneca sulla retrogradazione dei pianeti.

La presenza in opere di quest'epoca di conoscenze a noi non altrimenti note, ha fatto tuttavia datare spesso al VI secolo alcuni risultati scientifici e tecnologici propri della scienza ellenistica. [9]

2 | Astronomia islamica

Attorno al 350 d.C. il vescovo Jacob di Nisibis fondò una scuola a Edessa in Asia Minore. La lingua che si parlava era il siriaco, ma si studiava anche il greco e qui furono tradotti in siriaco alcuni scritti di Aristotele e del medico Galeno. Nel 489 la scuola fu chiusa dall'imperatore bizantino Zenone e alcuni studiosi migrarono più a oriente a Gundishapur, nell'Iran occidentale. Qui tradussero dal greco al siriaco opere di medicina e di altri argomenti; la quantità delle opere tradotte fu modesta, ma ciò bastò a fornire un campione delle ricchezze culturali disponibili a chi poteva comprendere il greco. [23]

Tuttavia fu sotto il governo sasanide di Cosroe I (531–579) che Gundeshapur diventò rinomata per la medicina e l'erudizione scientifica. Cosroe offrì rifugio a vari filosofi greci, cristiani siriaci e nestoriani che fuggivano le persecuzioni religiose dell'Impero bizantino. I Sasanidi avevano da lungo tempo combattuto romani e bizantini per il controllo di quello che oggi è l'Iraq e la Siria ed erano naturalmente disponibili a ospitare i loro rifugiati. Il re commissionò a questi dotti l'incarico di tradurre testi greci e siriaci in pahlavi. Costoro tradussero vari lavori di medicina, astronomia, astrologia, filosofia e di carattere tecnologico. I filosofi trascorsero certamente del tempo alla corte di Cosroe I. Successivamente, in seguito ad un accordo stipulato tra il sovrano sasanide e Giustiniano, fu loro concesso di ritornare in patria. Secondo la testimonianza dello storico bizantino Agazia (536–582/594) ciò avvenne nel 532 (*Storie*, 30–31).

L'episodio dell'emigrazione in Persia di questi filosofi, sul quale siamo così male informati, riveste un duplice interesse. In primo luogo potrebbe aver contribuito all'interesse per il neoplatonismo avvertibile in Oriente ancora in epoca islamica. Inoltre questi intellettuali potrebbero aver trovato in Persia scritti ellenistici non più disponibili in Occidente: ad esempio Prisciano Lidio è la nostra migliore fonte circa l'opera sulle maree di Po-

www.nostronomics.com

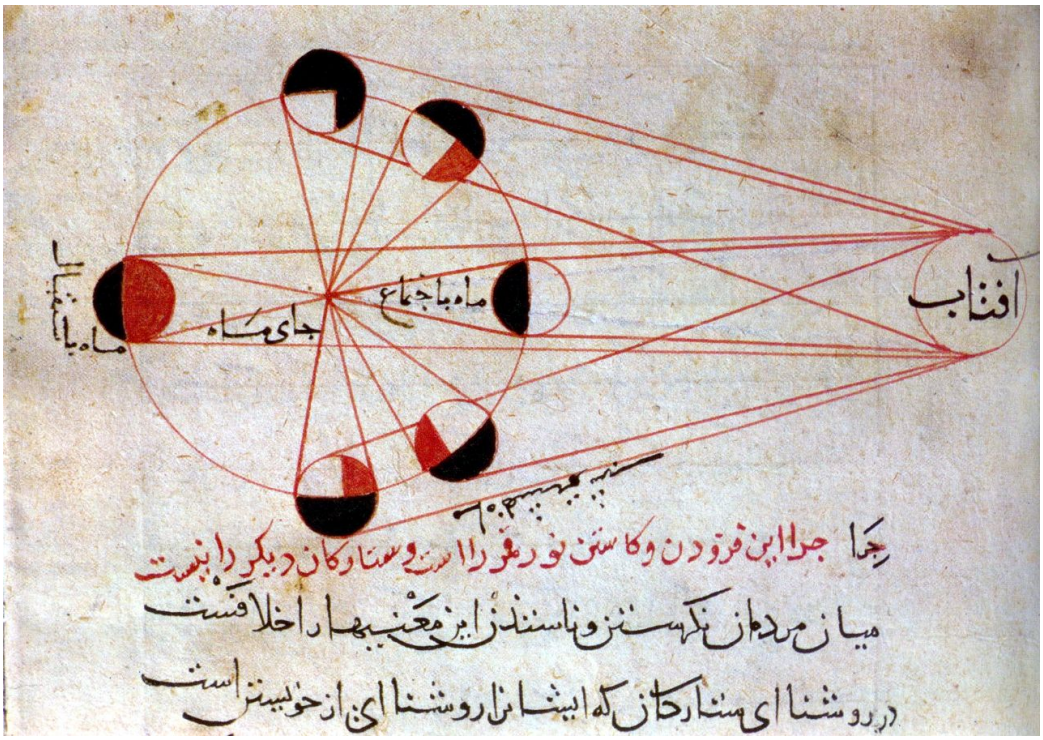

Figura 3.3 | Illustrazione di Al-Biruni (973–1048) delle fasi della Luna. Dall'opera Kitab al-tafhim (in persiano). (Wikimedia Commons; user Laurascudder)

sidonio (c. 135 a.C–50 a.C.). Il testo di Prisciano, le *Solutiones ad Chosroem*, che contiene delle risposte del filosofo al sovrano sasanide, originariamente scritto in greco, ci è giunto solamente attraverso una traduzione latina molto corrotta effettuata forse in Francia nel IX secolo. [5]

Nel 570 alla Mecca nacque Maometto. Dopo la sua morte avvenuta nel 632, la religione da lui fondata cominciò a diffondersi rapidamente in Medio Oriente, Africa settentrionale e raggiunse la Spagna. Nel 762 i suoi successori in Medio Oriente fondarono una nuova capitale, Baghdad, sulla riva del Tigri, a breve distanza dai medici cristiani nestoriani di Gundeshapur. Avvenne che membri della corte di Baghdad chiamarono i medici cristiani per alcuni consulti e questi incontri furono occasione per gli alti funzionari islamici di venire a conoscenza di un tesoro culturale proveniente dall'antichità. [24] Questo capitale tuttavia era conservato in manoscritti giacenti in lontane biblioteche e scritti in una lingua straniera. Perciò Harun al-Rashid, divenuto califfo nel 786 e i suoi successori, inviarono funzionari nell'Impero Bizantino per comprarvi manoscritti greci, e all'inizio del IX secolo il califfo al-Ma'mun fondò a Baghdad un centro di tradu-

www.nostronomics.com

zioni il *Bait al Hikmah,* la *Casa della Sapienza*, dove studiosi di lingua siriaca ed araba, sotto la direzione del cristiano nestoriano al-Ibadi (808–873) tradussero in arabo opere greche sia dall'originale, sia da versioni siriache. Dal momento che l'arabo era la lingua del Califfato che si estendeva da Kabul in Afghanistan a Toledo in Spagna, la traduzione di queste opere in arabo ne assicurò un'ampia diffusione. Infine grazie all'avanzata dei cristiani di Spagna contro i Mori nel XII secolo, questi manoscritti giunsero in mani occidentali e molti di essi vennero tradotti in latino. Nonostante il travagliato percorso di queste opere greche, che attraverso traduzioni in siriaco, arabo e infine latino avevano perso qualità, esse furono però fondamentali per assicurare la trasmissione in Occidente di quella parte del pensiero astronomico ellenistico che si era salvata in epoca tardo imperiale e altomedioevale.

Come tutte le altre biblioteche di Baghdad, anche la Casa della Sapienza venne distrutta durante l'invasione mongola di Baghdad nel 1258. Si disse che le acque del Tigri siano scorse nere per sei mesi a causa dell'inchiostro proveniente dall'enorme quantità di libri gettati nel fiume. Le risorse culturali che gli arabi ebbero a loro disposizione erano considerevoli. L'Egitto, culla del sapere alessandrino, era stato conquistato dagli arabi e così la cultura che vi era sopravvissuta contribuì anch'essa all'attività scientifica del Califfato. La stessa sorte subirono i monasteri cristiani del Medio Oriente con le loro biblioteche di testi greci. Perciò l'Islam aveva accesso, quando non li controllava direttamente, agli studiosi e alla cultura dell'Impero Bizantino, dell'Egitto, della Siria, della Persia e dei territorio più a oriente, compresa l'India. Fino al 1300 la civiltà islamica dette prova di un notevole dinamismo, poi questo impulso si esaurì.

Ci sono pervenuti circa diecimila manoscritti astronomici in arabo, persiano e turco, i quali continuano a giacere sugli scaffali delle biblioteche in attesa che vengano studiati. [23] Pare chiaro tuttavia che gran parte di questi scritti sia in realtà relativo a pratiche religiose. Gli scritti astronomici di altro genere sono relativamente pochi anche se di notevole importanza storica. In queste opere gli astronomi matematici islamici tentarono di perfezionare i modelli planetari tolemaici contenuti nell'Almagesto oppure approfondirono le questioni relative alla natura del cosmo in contrapposizione con i filosofi. Le pratiche religiose generarono sostanzialmente tre problemi specifici a cui gli astronomi matematici tentarono di trovare una soluzione. Il primo è il problema del calendario lunare, ereditato dai tempi preislamici. Si tratta di riuscire a mettere d'accordo l'anno, e dunque le stagioni, (che sono una questione che riguarda il moto annuo della Terra attorno al Sole), con il "mese" (che è un concetto determinato dal moto della Luna attorno alla Terra), due fenomeni del tutto scorrelati tra

www.nostronomics.com

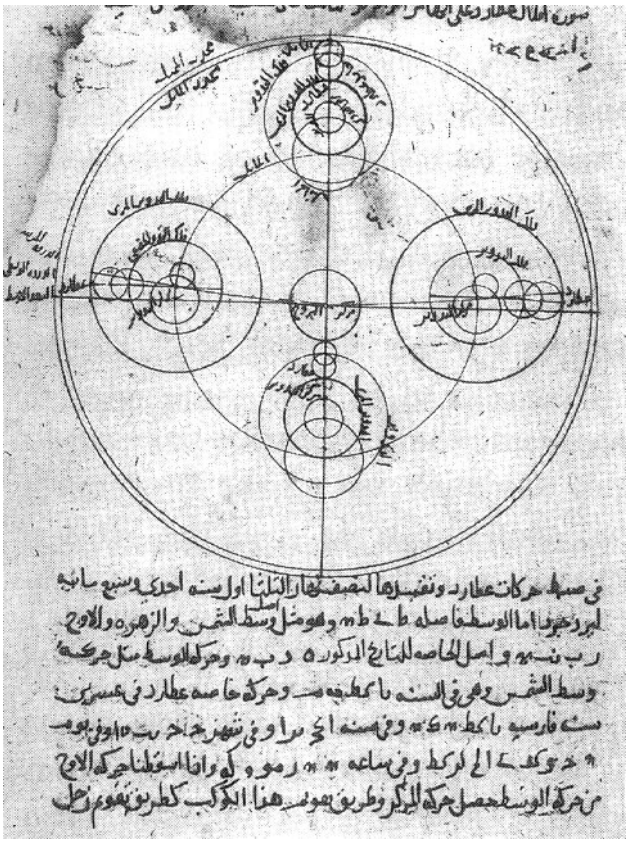

Figura 3.4 | Modello di Ibn al-Shatir (1304–1375) sul moto di Mercurio. È adottata la "coppia di Tusi" che consente di eliminare l'equante e l'eccentrico di Tolomeo. (Wikimedia Commons; user Konstable)

loro, perciò un anno solare non contiene un numero intero di mesi lunari. Risolvere questo problema richiede l'introduzione di mesi intercalari per mantenere l'anno più o meno in accordo con le stagioni, ma sembra che Maometto si sia pronunciato contro questo intercalare cosicché l'anno islamico è ancora oggi più corto di undici giorni rispetto all'anno delle stagioni. È per questo motivo che il mese sacro del digiuno, il Ramadan, può presentarsi in qualunque stagione.

Il secondo problema fornito dalla pratica religiosa era dettato dai tempi per la preghiera quotidiana. Questi, fissati in numero di cinque, venivano determinati con una formula approssimata di origine indiana che permetteva di correlare queste "ore" al crescere della lunghezza delle ombre. La necessità di tradurre queste regole empiriche in ore e minuti precisi, stimolò l'interesse degli astronomi islamici. [23] Un membro della Casa della Sapienza, agli inizi del IX secolo, al-Khwarizmi compilò delle tavole per l'ora della preghiera alla latitudine di Baghdad. Dalla corruzione del suo nome deriva il moderno termine *algoritmo*.

La terza questione affrontata dagli astronomi fu il problema dell'orien-

www.nostronomics.com

tamento delle moschee alla Mecca noto come *qibla*, ovvero "orientamento sacro". A Damasco nel XIV secolo venne preparata da al-Khalili una tavola che fornisce la qibla per ogni grado di latitudine da 10° a 56° e per ogni grado di longitudine da 1° a 60° a est e a ovest della Mecca. La tavola venne redatta per mezzo di una complicata e accurata formula.

Modello matematico
Un modello matematico è la rappresentazione di un fenomeno, di oggetti empirici o di processi fisici, descritti in maniera logica; esso si riferisce solamente ad alcuni aspetti del fenomeno in questione. Non è quindi una semplice descrizione verbale, ma il processo è analizzato in maniera formale e astratta, priva di ambiguità, mediante gli strumenti della matematica. Un modello è la rappresentazione concettuale del fenomeno, cioè delle nostre idee o conoscenze relative ad un fenomeno, non del fenomeno *in sé.* Quando analizziamo il moto di un proiettile stiamo studiando *quel particolare* proiettile, non tutti i proiettili ovviamente, e quindi assumiamo implicitamente che il nostro proiettile occupi il ruolo di prototipo. Perciò dichiariamo che gli inevitabili difetti di fabbricazione, per fare un esempio, non svolgano alcun ruolo. Abbiamo dunque già "filtrato" la realtà scegliendo cosa è meritevole di entrare nel modello e cosa no. Ciò che abbiamo formalizzato non è la "realtà", ma alcune nostre "opinioni" su di essa.

Gift Shop! Nostromics Store – Physics

Nel IX secolo venne tradotto in arabo l'Almagesto di Tolomeo per impulso del califfo Al-Ma'mun. L'efficacia dei modelli planetari ivi esposti dipendeva anche criticamente dalla precisione dei parametri numerici usati e siccome erano trascorsi molti secoli dall'epoca di Tolomeo, si rendevano inevitabili dei miglioramenti. L'astronomo greco aveva mostrato ai lettori come derivare i parametri dalle osservazioni e gli astronomi islamici fecero tesoro dei suoi insegnamenti. Molte delle osservazioni da loro registrate sono effettuate al fine di migliorare i valori usati per quantità come l'eccentricità dell'orbita solare e l'obliquità del piano dell'eclittica. Tutto questo condusse ad un certo interesse per l'osservazione astronomica e se inizialmente gli strumenti erano piccoli e portatili, con il passare del tempo si svilupparono strumenti più perfezionati e di dimensioni maggiori. Grazie ai finanziamenti di sovrani e mecenati, questi grandi strumenti vennero installati in edifici appositi e ciò determinò gli inizi degli osservatori astronomici. Accadeva spesso però che l'ostilità delle autorità religiose verso l'astrologia ebbe come conseguenza che la morte del mecenate, o un accanirsi dell'ostilità, ponessero termine alle osservazioni. Gli osservatori astronomici del Cairo e di Istanbul, quest'ultimo costruito tra

www.nostronomics.com

il 1575 e il 1577, furono addirittura demoliti. Solamente gli osservatori di Maragha, nell'Iran settentrionale dell'astronomo persiano al-Tusi e quello di Samarcanda, nell'Asia Centrale dell'astronomo Ulugh Beg (1394–1449), ebbero vita non effimera. Un importante risultato ottenuto all'osservatorio di Samarcanda fu una collezione di tavole astronomiche e un catalogo di 1000 stelle, il più importante del medioevo. Muhammad al-Battani (850–929) noto in Occidente come *Albatenius*, trascorse la sua vita ad al-Raqqa sul fiume Eufrate, e fu uno dei molti astronomi islamici che accettarono il modello tolemaico correggendone però qualche parametro. Le sue tavole giunsero in Europa attraverso la Spagna musulmana e successivamente l'invenzione della stampa diede ampia diffusione all'opera di al-Battani che fu molto usata da Copernico che nel *De Revolutionibus* lo cita ventitrè volte.

Figura 3.5 | Il sestante murale di Ulug Beg costruito a Samarcanda, Uzbekistan, XV secolo. (Wikimedia Commons; user Alaexis)

Al contrario l'astronomo ibn Yunus, vissuto al Cairo alla fine del X secolo, non fu conosciuto in Occidente. Compose una importante opera astronomica le *Tavole Hakimite*, che contenevano una serie di circa cento osservazioni soprattutto eclissi e congiunzioni planetarie. Le *Tavole Toledane*, preparate nel secolo XI a Toledo in Spagna dall'astronomo al-Zarqali (latinizzato in *Arzachel*) furono tradotte in latino ed ebbero grande diffusione: divennero il modello a cui si ispirarono le *Tavole Alphonsine*, desti-

www.nostronomics.com

nate a costituire la base di ogni ricerca astronomica dal Trecento fino al Rinascimento. Queste "tavole" astronomiche sono dunque elenchi di numeri computati con gli algoritmi contenuti nell'Almagesto di Tolomeo, in grado di fornire le posizioni del Sole, dei pianeti e delle stelle, oltre alle date delle eclissi. In termini ancora più espliciti esse permettono, giorno per giorno, di calcolare la posizione di questi astri sullo sfondo delle stelle fisse. La computazione delle tavole è quindi il tratto caratteristico dell'astronomia medioevale, e questo sforzo aveva principalmente la finalità, non va dimenticato, di rispondere alle esigenze dell'astrologia. È in fondo la stessa tradizione che abbiamo già considerato a proposito dell'astronomia babilonese. Gli astronomi islamici si trovavano tuttavia più a loro agio con i calcoli matematici delle posizioni planetarie che con l'osservazione del cielo. Non badarono molto per esempio nel 1054 all'apparizione di una supernova nella costellazione del Toro (*Crab Supernova*), che fu visibile in pieno giorno per 23 giorni e di notte per 653. Le cronache cinesi hanno molti riferimenti ad essa, ma a quanto pare, è menzionata una sola volta in testi arabi.

Thabit ibn Qurrah (836–901), *Tebit* in latino, fu un importante matematico oltre che astronomo. Stabilendo le condizioni che consentono d'individuare le coppie di *numeri amicabili,* diede la dimostrazione di quello che sarebbe divenuto il grande teorema sull'argomento. In astronomia sottolineò le incoerenze che emergevano da un confronto dei metodi geometrici dell'Almagesto con la concezione fisica del cosmo che Tolomeo espose nelle sue *Ipotesi planetarie.* Fin dal secolo X apparvero regolarmente testi arabi sui "dubbi", *shukuk*, concernenti Tolomeo. Perciò benché non si trovi nella scienza islamica un pensatore rivoluzionario che sfidasse la cosmologia geocentrica tolemaico-aristotelica, tuttavia è presente un diffuso senso di disagio per certe incongruenze che darà poi i suoi frutti nel Rinascimento europeo. [23] Le critiche riguardavano soprattutto l'equante, un artificio tolemaico che portava i pianeti ad accelerare e rallentare il loro moto, in aperto contrasto con la filosofia aristotelica. Sarà precisamente il fastidio per l'equante a condurre Copernico ad abbandonare il geocentrismo.

Quale fu il vero peso della scienza islamica sviluppata nel periodo aureo? È una domanda alla quale è difficile rispondere. Se da una parte sarebbe del tutto riduttivo affermare che l'importanza della scienza islamica consista unicamente nel suo ruolo di preservare e trasmettere il patrimonio ellenistico al Rinascimento, è pur vero però che è inevitabile misurare il contributo degli scienziati musulmani sulla base della fecondità delle idee da loro sviluppate mostrata in seguito, come d'altra parte accade per qualunque scienziato di qualunque paese e di qualunque epoca. Einstein, per fare un esempio, è tuttora ben presente e di attualità ad un secolo dalla

www.nostronomics.com

pubblicazione della teoria della Relatività, anzi alcune conseguenze delle sue idee non sono state probabilmente ancora bene assimilate. A causa però del declino della scienza islamica, qualunque importante sviluppo delle idee dei pensatori arabi sarebbe potuto avvenire solamente nell'ambito di un'altra cultura: quella "latina" ed "europea".

Nonostante numerosi tentativi da parti di studiosi sia del passato sia moderni, non esiste accordo sulle cause del declino della scienza islamica. Tra le cause proposte c'è il conflitto tra Sunniti e Sciiti e le invasioni dei crociati e dei mongoli nei territori islamici tra l'XI e il XIII secolo. I mongoli distrussero le biblioteche, gli osservatori astronomici, gli ospedali e le università islamiche. La distruzione di Baghdad, nel 1258, segna tradizionalmente la fine del periodo aureo dell'Islam. Si ritiene che il numero di scienziati islamici abbia cominciato a declinare a partire dal XII o XIII secolo, e che questi siano diventati l'eccezione più che la regola. Recentemente però è stato messo in discussione il quadro tradizionale del declino sottolineando che l'attività in campo astronomico sia continuata con una attività creativa fino al XVI secolo con l'opera di Ibn al-Shatir (1304–1375) a Damasco, quelle di Ulugh Beg, Ali Kuşçu (1403–1474), al-Birjandi (morto nel 1528) e Taqi al-Din (1526–1585). Circa il declino della scienza islamica è significativa l'opinione di George Sarton (1884–1956) considerato il padre della Storia della Scienza:

> *"The decadence of Islam and of Arabic is almost as puzzling in its speed and completeness as their phenomenal rise. Scholars will forever try to explain it as they try to explain the decadence and fall of Rome. Such questions are exceedingly complex and it is impossible to answer them in a simple way."*

— George Sarton, The Incubation of Western Culture in the Middle East, A George C. Keiser Foundation Lecture, March 29, 1950, Washington DC, 1951

3 | L'astronomia nell'Europa latina

I cinque secoli che trascorrono dalla caduta dell'Impero Romano d'Occidente alla fine del I millennio rappresentano un periodo in cui l'attività astronomica è pressoché scomparsa in Europa. L'Italia prima delle altre ex province dell'Impero esce dal feudalesimo e si avvia nell'età dei Comuni. Questo spiega perché non esista un poema epico nazionale italiano. Mentre in Spagna c'è il *Cantar de mio Cid* (1140), in Francia la *Chanson de Roland*

www.nostronomics.com

(metà del XI secolo), in Germania *Nibelungenlied* (Canzone dei Nibelunghi, prima metà del XIII secolo), in Italia le cose vanno diversamente. Perché? Perché questi componimenti epici sono espressione dei valori dell'epoca cavalleresca e feudale, mentre in Italia si vanno affermando i Comuni che sono espressione di altri ceti sociali. È la società che emerge dalla *Divina Commedia* di Dante Alighieri (1265–1231), che in Italia ha assunto il posto del poema nazionale e fondativo della lingua volgare.

La penisola italiana per la sua collocazione al centro del Mediterraneo era estremamente esposta alle invasioni dal mare. I saraceni, nome che i cronisti medievali attribuivano agli arabo-musulmani, (forse dal nome di una antica tribù del Sinai meridionale), organizzarono numerose incursioni sulle coste dell'Italia meridionale e centrale. La più nota scorreria saracena culminò nell'assalto, nella notte tra il 24 e il 25 agosto dell'846, contro Ostia e nel successivo saccheggio, una volta risalito il Tevere, delle basiliche di San Pietro e San Paolo che si trovavano fuori dalle mura aureliane. Era la prima volta che un esercito non cristiano violava il centro della cristianità. Goti, Longobardi, Unni e Vandali non avevano infatti mai profanato quel luogo, pur avendo pesantemente infierito sul resto della città. Si trattò di un evento che suscitò un'impressione enorme in tutta la cristianità e che indusse il papa Leone III a costruire con una colletta un nuova cerchia di mura in modo da collegare San Pietro prima di allora indifesa, con un sistema di mura, noto come Città Leonina. Pochi anni dopo nell'859–860 ci fu un'altra incursione disastrosa nell'Italia settentrionale e centrale, questa volta da parte degli ungari provenienti dalla Pannonia. A causa dell'assoluto vuoto di potere in epoca post-carolingia sorsero numerose iniziative locali e spontanee che avevano come scopo la costruzione di difese, terrapieni o la riparazione di vecchie mura romane. Furono questi gruppi informali di cittadini il nucleo da cui ebbero origine i Comuni. [21]

Non sempre però le relazioni tra le culture furono improntate allo scontro. Infatti nel X secolo ci furono i primi contatti con i centri di cultura islamici; i monasteri sulle pendici dei Pirenei meridionali divennero centri per la trasmissione del sapere arabo. Ci fu addirittura chi si recò in Spagna per studiare la scienza dei dotti moreschi. È il caso di Gerberto d'Aurillac (c. 950–1003), il futuro papa Silvestro II. [25] Nel 967 il Conte Borrell di Barcellona visitò il monastero dove si trovava il giovane Gerberto e l'abate chiese al conte di portare con sé il monaco, così che potesse studiare matematica in Spagna, nel monastero di Ripoll. Negli anni seguenti, Gerberto studiò nella città di Barcellona, controllata dai cristiani, entrando così in contatto col mondo islamico, data anche la vicinanza col confine. Dopo il suo ritorno Gerberto fu chiamato a dirigere la scuola della cattedrale di

www.nostronomics.com

Figura 3.6 | Astrolabio, Marocco, XVI secolo. (Parigi, Museo Navale). L'astrolabio è un dispositivo estremamente versatile che consente vari impieghi ed assolve a diverse funzioni astronomiche e geodetiche. Apparve in Occidente prima del 1025. (Wikimedia Commons; user Rama)

Reims che cominciò ad attirare studenti da lontano, dal momento che la sua fama di uomo di cultura si era molto diffusa. Egli potrebbe aver portato dalla Spagna la conoscenza del più importante strumento di epoca pre-telescopica: l'*astrolabio*. Questo è un dispositivo estremamente versatile che consente vari impieghi ed assolve a diverse funzioni. Permette di predire la posizione di Sole, Luna e stelle; consente di determinare il tempo locale data la latitudine del luogo e viceversa; ha applicazioni geodetiche e permette di effettuare la triangolazione. Quel che è sicuro è che l'astrolabio apparve in Occidente prima del 1025 e poco dopo vennero composti sull'argomento, o adattati dall'arabo, due trattati latini opera di un monaco tedesco, Ermanno lo Storpio (Hermannus Contractus, 1013–1054) il *De mensura astrolabii* e il *De utilitatibus astrolabi*, probabilmente ispirati al *De compositione astrolabii* di Masha'allah ibn Atharī (c. 740–815) un astronomo e astrologo persiano giudeo. Si attribuisce inoltre ad Ermanno la stesura della preghiera del Salve Regina. [26]

Abbiamo accennato al processo che portò alla formazione dei Comuni italiani a partire da gruppi informali di cittadini che iniziarono a provvedere alla realizzazione di opere di difesa dalle incursioni. Una ulteriore esigenza che si affacciava era quella di dirimere i contenziosi che si ve-

www.nostronomics.com

nivano a creare. Poiché i giuristi annotavano i testi con numerose glosse, presero il nome di Glossatori. Glossa non è altro che l'elementare ed immediato chiarimento che il professore apporta alla *litera* del testo giuridico durante la *lectura* di esso agli studenti. A Bologna un certo Pepo o Pepone, secondo un racconto del glossatore Odofredo, nella seconda metà dell'XI secolo avrebbe cominciato a dare lezioni di diritto romano a Bologna, di sua iniziativa (*de auctoritate sua*). Nacque così la cosiddetta *Scuola bolognese dei Glossatori* (XII–XIII secolo), una scuola di giuristi e studiosi che ricostruì l'opera di Giustiniano I di Bisanzio, il *Corpus iuris civilis*, e ne fece quindi un'analisi approfondita, riscoprendo e reinterpretando i testi classici. Gli studenti accorsero desiderosi di ascoltare il maestro che "rivelava" questi testi misteriosi, da secoli dimenticati, mortificati e avviliti dalla cultura alto-medievale. Provenienti da tutta Europa, vennero spontaneamente a Bologna, desiderosi di poter assistere alle *lecturæ* dei professori. Gli *scholares* sceglievano e finanziavano in prima persona i docenti. Essi si organizzarono in collegi per l'aiuto reciproco fra compagni della stessa nazionalità, le *nationes*, divise in *intramontani* (o *citramontani*) ed *ultramontani*. Già nel XII secolo erano ben 17 le subnationes intramontane, tra queste le nationes dei Lombardi, Toscani, Romani e Campani e 14 le ultramontane, cioè le nationes europee. A Bologna un ruolo preminente veniva svolto dalla *natio germanica*. L'unione delle diverse *nationes* darà origine all'*universitas*.

Così nacque la prima università della storia: fu proprio lo studio del diritto a Bologna, organizzato secondo basi sistematiche, a dar vita ad una struttura stabile, dotata di uffici, magistrature, statuti, sorta grazie alla spontanea associazione di scholares. Gli storici sono concordi nel ritenere che l'anno della fondazione sia il 1088. Nel 1158 Federico I promulgò la *Costitutio Habita* (o *Authentica Habita*) con cui l'Università venne tutelata come luogo di ricerca e studio indipendentemente da ogni altro potere. Presto questo processo di fondazione delle *universitas* si ripeterà altrove: ad Oxford in Inghilterra, attorno al 1096, nel XI secolo a Parma, a Parigi nel 1150. In questo periodo, nei secoli XI e XII, gli autori latini come Hermannus Contractus sono o traduttori oppure fortemente debitori verso la letteratura astronomica araba. [22] È il caso di un altro personaggio significativo: Adelardo di Bath (1080–1152). Questo studioso inglese è stato traduttore, filosofo e matematico. Inizialmente studiò in un monastero benedettino dove divenne monaco, poi, dal 1100 andò in Francia, a Tours, dove si applicò nelle arti del trivio e del quadrivio. Compì molti viaggi, tra cui Salerno, Siracusa, Grecia, Toledo e Antiochia. Tradusse le tavole astronomiche di al-Khwarizmi. Sebbene gli Elementi di Euclide fossero studiati nell'Impero Bizantino nell'originale greco, il testo era stato perso

www.nostronomics.com

Figura 3.7 | Studenti entrano nella "Natio germanica Bonomiæ". Si può leggere la data "1497. Nel 1496 Copernico si recò a studiare in Italia e studiò diritto a Bologna dove venne registrato nella Natio germanica come "Nicolaus Kopperlingk de Thorn". (Wikimedia Commons; user Stefan Bernd)

nell'Europa latina finché Adelardo intorno al 1120 ne fece una traduzione dall'arabo, che divenne il testo più autorevole nelle scuole di matematica europee. Adelardo è ricordato per una sua celebre frase: "*Se vuoi essere ascoltato da me, dà e accetta ragioni*."

Le prime traduzioni in latino di opere greche di carattere scientifico risalgono quindi al XII secolo. Bernardo di Chartres agli inizi del secolo sintetizza il rapporto con gli "Antichi" in una formula destinata ad avere grande successo: "*I nani posti sulle spalle di giganti vedono più dei giganti stessi*." Significativamente tra le opinioni degli antichi "giganti" non sono riportate solo quelle che in epoche successive saranno considerate espressione di tutta l'antichità come le dottrine aristoteliche. Ad esempio il filosofo scolastico Guillaume de Conches (c. 1080–c. 1154), nel suo *Dragmaticon philosophiæ*, scritto intorno al 1140, riferisce l'opinione secondo cui le stelle fisse sono dotate di un *moto proprio* anche se troppo lento per essere osservato nell'arco di una vita umana e che il Sole è dotato di una forza attrattiva. L'idea che le stelle abbiano un moto intrinseco risale a Ipparco e sarà confermata nel 1718 da Edmond Halley (1656–1742).

La caduta nelle mani dei latini di Toledo nel 1085, uno dei principali centri culturali islamici, fu un evento decisivo per diffusione della scienza greca nell'Occidente latino. Gerardo da Cremona (c. 1114–1187) fu un importante traduttore che si recò in quella città. Sono almeno 74 le ope-

www.nostronomics.com

re che si suppone abbia tradotto dall'arabo, in gran parte ricerche scientifiche di scienziati e studiosi musulmani come al-Farghani (Alfragani), Jabir ibn Aflah (Geber), al-Nayrizi (Anaritius), al-Hazen, Rabi' ibn Zayd, al-Khwarizmi, Muhammad ibn Zakariya al-Razi (Rhazes) e Abu al-Qasim al-Zahrawi (Albucasis). A Gerardo si attribuisce la traduzione di altre opere tra cui le regole (*Canones*) per l'uso delle Tavole Toletanæ di al-Zarqali. La traduzione in latino effettuata da Gerardo da Cremona dell'Almagesto di Tolomeo fu l'unica versione conosciuta nell'Europa occidentale per diversi secoli, fino a quando, dapprima l'umanista bizantino Giorgio di Trebisonda (1395–1472) e poi Regiomontano (Johannes Müller, 1436–1476) tradussero il testo dall'originale greco nel XV secolo. Un'altra importante circostanza che favorì la dispersione di manoscritti conservati a Bisanzio, fu il saccheggio della città nel 1204 durante la IV crociata e la successiva fondazione dell'Impero Latino (1204–1261). [9]

Occorre rendersi conto di quale impatto possono aver avuto le traduzioni delle opere ellenistiche e del medioevo islamico sulle nascenti università europee del XII secolo. Quando i docenti del *Quadrivio* ebbero tra le mani per la prima volta l'Almagesto deve essere apparsa loro come qualcosa di assolutamente inaccessibile, di gran lunga più complessa di qualunque opera astronomica a loro precedentemente nota. Inoltre i manoscritti quando erano disponibili avevano dei costi proibitivi ed erano soggetti agli errori dei copisti. Va poi detto che tra le funzioni dell'università non c'era la ricerca intesa come ampliamento delle conoscenze, ma lo studio di testi di qualità riconosciuta che per lo più avevano lo scopo di esercitare intensamente le abilità di ragionamento logico. Lo studente di astronomia non era certo un astronomo matematico, né lo studio del cielo comprendeva l'osservazione. [22]

Lo sforzo dei traduttori ebbe però un immediato successo perché rese evidente che i manoscritti introduttivi di astronomia fino ad allora adottati nell'insegnamento erano di scarsa qualità. A rimediare a questa situazione fu Johannes de Sacrobosco (John of Holywood, c. 1195–1256) uno studioso inglese che insegnò all'Università di Parigi, divenuta ben presto il grande centro intellettuale della cristianità. Fu proprio a Parigi infatti, che il domenicano italiano Tommaso d'Aquino (1225–1274) operò una sintesi tra aristotelismo pagano e la visione cristiana elaborata nel corso degli ultimi mille anni. Sacrobosco consegnò agli studenti tre opere che rispondevano complessivamente alle nuove esigenze. Si trattava del *Compotus*, una introduzione al computo del tempo, di *Algorismus* che insegnava l'aritmetica del calcolo astronomico, e infine del *Tractatus de Sphæra*, la sua opera più famosa, nota anche come *Sphæra,* che fu studiata dagli studenti di tutte le università dell'Europa latina per i successivi quattro secoli.

www.nostronomics.com

Il rasoio di Occam
Il *rasoio di Occam* è un principio metodologico espresso nel XIV secolo dal filosofo e frate francescano inglese William of Ockham (1288–1349), in italiano Guglielmo di Occam. Egli suggerì come tra le diverse spiegazioni di un fenomeno naturale si dovesse preferire quella che non introduce enti inutili. Si potrebbe riformulare l'idea affermando che *a parità di fattori è più plausibile che la spiegazione esatta sia quella più semplice*. Il principio, alla base del pensiero scientifico moderno, nella sua forma più semplice suggerisce l'inutilità di formulare più assunzioni di quelle strettamente necessarie per spiegare un dato fenomeno:

"Entia non sunt multiplicanda præter necessitatem."

(Non moltiplicare gli elementi più del necessario.)

Gift Shop! Nostromics Store – History of science

Il manoscritto fu copiato molte volte prima dell'invenzione della stampa. Sono sopravvissute fino a noi addirittura centinaia di copie. La prima copia stampata apparve a Ferrara nel 1472, da allora uscirono per altri due secoli circa 90 edizioni con numerosi commentari, tra cui, il più famoso, quello dell'astronomo gesuita Christoph Clavius (1538–1612), dal titolo *In sphæram Iohannis de Sacro Bosco commentarius* (Roma, 1581).

Tuttavia anche il trattato di Sacrobosco mostrò presto alcuni suoi limiti; in particolare il Libro IV, che trattava il problema del moto del Sole, della Luna e dei pianeti oltre ad una sommaria descrizione delle eclissi, era del tutto insufficiente. C'era bisogno di qualcosa di meglio e per colmare la lacuna venne pubblicata la *Theorica planetarum*, opera del matematico e astronomo italiano Giovanni Campano (1220–1296), uno tra i più importanti scienziati e matematici del secolo XIII, citato anche da Ruggero Bacone (1214–1294) come uno dei più grandi matematici a lui contemporanei. Nella Theorica Planetarum, Campano descrisse geometricamente i moti dei pianeti e il modo per realizzare un planetario. È la prima descrizione di un simile meccanismo da parte di un europeo. I dati sui pianeti sono tratti dall'Almagesto e dalle Tavole Toledane. [22]

L'accurata descrizione del planetario restò un progetto sulla carta per circa un secolo finché capitò nelle mani dell'orologiaio italiano Giovanni Dondi dall'Orologio (c. 1330–388). Questi realizzerà l'*Astrarium*, una geniale macchina che si ispirava direttamente alla *Theorica planetarum,* e che venne completata intorno al 1364. Si trattava del primo dispositivo paragonabile alla Macchina di Antikythera. L'orologio astronomico (o astrario) di Dondi è andato distrutto, ma è ben conosciuto perché il suo ideato-

www.nostronomics.com

re ne dette una particolareggiata descrizione nell'opera *Tractatus Astrarii*, trasmessa da due manoscritti. Consisteva in un congegno mosso da pesi, di piccole dimensioni (alto circa 85 cm, largo circa 70), racchiuso in un involucro a base eptagonale. Grazie ad una serie di ingranaggi l'astrario riproduceva i moti del Sole, della Luna e dei cinque pianeti. Esso indicava anche la durata delle ore di luce alla latitudine di Padova. Come misuratore del tempo, oltre all'ora, indicava, forse per la prima volta tra gli orologi meccanici, anche i minuti, a gruppi di dieci. [27]

Dondi venne folgorato dalla Theorica Planetarum di Campano, della cui preparazione scientifica afferma esplicitamente di fidarsi. Ecco cosa scrive Dondi nel proemio del suo *Tractatus Astrarii*, il libro-manuale per costruire l'Astrario:

> "*Ho preso spunto nell'ideare la realizzazione di questa opera* [l'Astrario] *da un'acuta intuizione del Campano, là dove nella sua Theorica Planetarum parla di strumenti di equazione. Ho constatato che le estensioni delle orbite e le distanze dei centri* [dei pianeti] *sono state bene calcolate da lui e, senza curarmi di approfondire oltre, ho confidato nella sua precisione di indagine e di ingegno.*"
>
> — Traduzione di Aldo Bullo del testo latino tratto dal manoscritto, conservato nella biblioteca Capitolare di Padova [D. 39 – f. 1rB (#5)] [27]

Nel 1381 Dondi presentò il suo orologio al duca Gian Galeazzo Visconti che lo installò nella biblioteca del suo castello a Pavia. Lì rimase almeno fino al 1485; è possibile che qui sia stato studiato da Leonardo da Vinci (1452–1519). Regiomontano si recò a vederlo nel 1462 e riferisce di prelati e principi che andavano ad ammirarlo quasi fosse un miracolo. Poi dell'Astrario si perdono le tracce. L'orologio astronomico che si può tuttora ammirare sulla Torre dell'Orologio a Padova, in Piazza dei Signori, è una copia non dell'Astrario di Giovanni Dondi, ma dell'orologio costruito nel 1344 dal padre, Jacopo Dondi (c. 1293–1359).

Uomo dai vasti interessi, Jacopo ha inoltre svolto un ruolo di un certo rilievo nel lungo e complesso percorso verso la comprensione del fenomeno delle maree. È infatti l'autore di un breve manoscritto *De fluxu et refluxu maris,* dove viene descritta una teoria delle maree, sostanzialmente corretta, che chiama in causa sia la Luna che il Sole. [5] Nella sua opera Dondi spiega le variazioni delle maree lungo il ciclo lunare per mezzo della diversa combinazione delle azioni del Sole e della Luna. Entrambe tendono ad alzare il livello delle acque nella propria direzione ed in quella opposta. La *teoria luni-solare* è completamente differente dalle spiegazioni, spesso

www.nostronomics.com

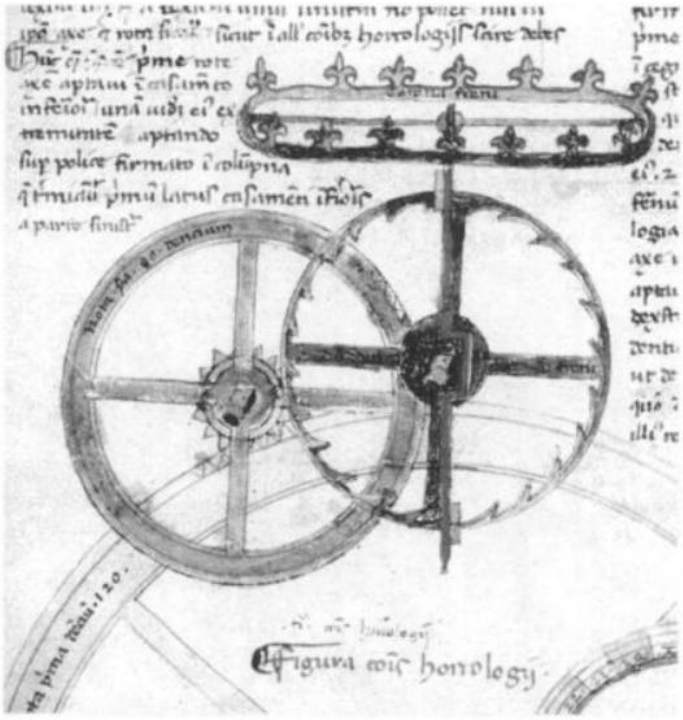

Figura 3.8 | Disegno del meccanismo a scappamento dell'Astrarium di Giovanni de Dondi. Dal Tractatus Astrarii, de Dondi, 1364. (Tractatus Astrarii in MS 631, Biblioteca Civica, Padova, folio 13r.) (Wikimedia Commons; user Chetvorno)

fantasiose, che circolavano in quei secoli. Per esempio tra le varie teorie medioevali si può ricordare quella del calore lunare. L'idea era che alla luce della Luna fosse associata una piccola emissione di calore capace di dilatare le acque. Potrebbe sembrare un'ipotesi ragionevole, ma si scontra subito con la constatazione che la luce solare avrebbe un effetto enormemente maggiore; eppure si continuò a sostenerla ancora nel XVI secolo. Anche Dante Alighieri accenna a un'azione (gravitazionale?) della Luna sulle masse marine:

> "*L'acqua sembra seguire principalmente il moto della Luna, siccome appare nel flusso e riflusso del mare; quindi essendo eccentrico l'orbe lunare, sembra ragionevole che l'acqua nella sua sfera imiti l'eccentricità di quello* [...]"
>
> — Dante Alighieri, *Quæstio de Aqua et Terra*, VII [28]

Jacopo Dondi scrisse un'importante opera di farmacologia, l'*Aggregator medicamentorum, seu de medicinis simplicibus*. Il trattato, scritto nel 1355, più di un secolo dopo, nel 1470, era considerato così utile che fu stampato ed

www.nostronomics.com

ebbe riedizioni anche nel secolo XVI. Non vi sono dubbi sul fatto che Jacopo, autore anche di un'opera di carattere filologico della quale sappiamo poco, fosse uomo di vaste letture. L'opera di Jacopo sul flusso e riflusso del mare, composta intorno al 1355, fu a lungo considerata perduta. L'edizione Revelli del 1912 basata su una copia effettuata nel XVI secolo è ora conservata nella Biblioteca Ambrosiana di Milano, dove è stata ripetutamente riscoperta e dimenticata. Lucio Russo nel 2003 ha pubblicato un fondamentale studio sulle origini della teoria luni-solare che ha portato all'attenzione degli storici il manoscritto di Dondi e la sua filiazione con la tradizione ellenistica, in particolare con gli studi di Seleuco di Babilonia. [5]

L'opuscolo di Dondi, 17 fogli nel manoscritto che ci è rimasto, è diviso in 4 capitoli. Il quadro generale è quello di un rigoroso impianto logico. [29] Come nelle opere successive di altri due intellettuali veneti, Federico Crisogono (1472–1538), autore del *Tractatus de occulta causa fluxus et refluxus maris*, e Marc'Antonio de Dominis (1560–1624), autore di *Euripus, seu de fluxu et refluxu maris sententia* del 1624, nell'opera di Dondi le maree sono chiaramente attribuite alle azioni della Luna e del Sole. In essa si spiega come i due effetti si sommino nelle congiunzioni e nelle opposizioni e si sottraggano l'un l'altro durante le quadrature. L'ipotesi fondamentale della teoria luni-solare proposta dai tre autori veneti è che la Luna e il Sole attirino le acque verso di sé e verso il punto diametralmente opposto. Sembrerebbe che le opere di Dondi, di Crisogono e de Dominicis rappresentino in realtà una parte di una tradizione più antica e complessa con tracce presenti in ambienti veneti, soprattutto padovani. La *teoria luni-solare* riappare in Europa nel XIV secolo nel territorio della Repubblica di Venezia, cioè nello stato che ha svolto la funzione storica di mediatore culturale tra Impero bizantino e Occidente. Già antica provincia dell'Italia bizantina, il Ducato di Venezia si era progressivamente slegato dal controllo imperiale, divenendo di fatto uno stato indipendente che nel Mille cercava di imporre la propria egemonia sul Mare Adriatico. I privilegi ottenuti nel corso dei secoli dall'Impero Bizantino avevano reso infatti la città monopolista in molti mercati orientali e principale attore del commercio in quell'area. La *Crisobolla* del 1082, emanata dall'imperatore Alessio I Comneno, concedeva amplissimi privilegi commerciali al Ducato di Venezia. Nell'editto Alessio concedeva innanzitutto a Venezia case, magazzini, botteghe e moli nella città di Costantinopoli, nel quartiere di Pera. Concedeva inoltre ai Veneziani il diritto al libero commercio e la totale esenzione da dazi nella capitale dell'impero ed in altre città ubicate soprattutto nelle isole dell'Egeo e nei Balcani, escludendo dalle aree di esenzione il solo Mar Nero. Con tale atto l'imperatore rendeva il Ducato veneto il principale riferimen-

www.nostronomics.com

to commerciale dell'Impero d'Oriente, gettando le basi della prosperità di Venezia e incrementando notevolmente il numero, la qualità e la ricchezza degli scambi commerciali bizantini, ma al contempo stringendo un legame talmente stretto con la sua ex-provincia, da finire sul lungo periodo per risultare soffocante per Bisanzio e provocare la reazione del nuovo Basileus Giovanni II.

Non stupisce quindi che molti manoscritti bizantini siano stati scoperti a Venezia. Anche se non sappiamo documentare con continuità tutta la tradizione intermedia, è difficile dubitare dell'esistenza di un filo continuo che dal periodo ellenistico, attraverso le epoche imperiale e bizantina, aveva trasmesso le antiche (e corrette) conoscenze fino a Jacopo Dondi e agli altri esponenti della tradizione veneta. La teoria luni-solare delle maree visse a lungo tramandandosi da un autore all'altro, costituendo l'oggetto di corsi in università di prestigio internazionale, come Padova, e di libri pubblicati in vari paesi europei, senza riuscire né a prevalere sulle spiegazioni tipicamente medioevali, né a farsi prendere in seria considerazione dai massimi scienziati della prima età moderna. Decartes non mostra di averne notizia, Galileo la rifiuta come residuo di pensiero magico, Stevino tenta di elaborare una rigorosa teoria delle maree limitandosi ad un elementare modello puramente lunare. Occorre ricordare che la più famosa opera di Galileo, il *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, tolemaico e copernicano* (1632), non è solo uno scritto in difesa del sistema copernicano, ma è principalmente un lavoro che intende esporre una teoria sulle maree che risulta essere del tutto errata, perché basata sul moto della Terra diurno e annuale. Galileo rifiuta l'idea, accolta dalla maggioranza dei suoi contemporanei, che la Luna svolga una azione diretta sulle acque. [5]

Non è stato finora studiato attentamente il retroterra delle teorie che hanno preceduto e preparato la sistemazione finale operata da Isaac Newton inclusa nel *Philosophie naturalis principia mathematica* del 1687. Tra gli storici della scienza si è affermata la convinzione che tutte le idee sulle maree antecedenti la trattazione di Newton dovessero esserle necessariamente estranee.

Al di fuori della tradizione latina medioevale si colloca Levi ben Gerson (1288–1344) chiamato anche Gersonide, un astronomo ebreo che visse in Francia ad Orange, non lontano da Avignone. [30] Le sue ricerche si discostano per alcuni versi dal solco dell'astronomia medievale. Il suo testo astronomico fu tradotto dall'ebraico in latino da Pietro di Alessandria (la città nell'Italia settentrionale) sembra in collaborazione con Gerson stesso. Tuttavia la maggior parte delle opere di Levi ben Gerson furono disponibili solo in ebraico e non sorprende perciò che la sua influenza sia stata limitata. A lui è attribuita l'invenzione del *Bastone di Giacobbe* uno strumento

www.nostronomics.com

di misura a forma di croce, che veniva usato nel Medioevo per misurazioni nautiche ed astronomiche. Lo strumento è descritto nella sua opera in ebraico "Guerre del Signore" (*MilHamot Adonai).* Tuttavia l'invenzione è probabilmente da attribuire ad un altro astronomo ebreo, Jacob Ben Makir (c. 1236–c. 1304) talvolta latinizzato come *Profatius Judæus,* vissuto anche lui in Provenza nello stesso periodo. Gerson si interessava agli strumenti di osservazione e questo lo pone in rottura con la tradizione; affermò ripetutamente che la teoria astronomica deve essere basata sui dati osservativi. Oltre alle ricerche sulle posizione dei pianeti, inclusi il Sole e la Luna, interesse che condivide con altri astronomi medioevali, troviamo Gerson impegnato in indagini sulle caratteristiche fisiche dei pianeti, come la luminosità. Queste misurazioni riscuotevano molto meno interesse da parte degli astronomi medioevali. Tolomeo nelle *Ipotesi planetarie* aveva assegnato delle dimensioni apparenti ai pianeti, ma non si era servito di questi dati per costruire i suoi modelli. [31] Al contrario per ben Gerson le "dimensioni" (cioè le luminosità apparenti) sono dati che una teoria astronomica deve spiegare. Tra gli strumenti di cui si servì ci fu la *camera oscura* con cui l'astronomo ebreo misurò nel 1334 le dimensioni apparenti del Sole all'apogeo e al perigeo; da queste variazioni derivò un valore per l'eccentricità solare. La derivazione di questo dato dall'osservazione diretta del diametro apparente del Sole, a differenza di Tolomeo che derivava l'eccentricità dalla variazione di lunghezza delle stagioni, convinse Gerson della realtà delle variazioni di distanza della Terra dal Sole. La camera oscura, sconosciuta a Tolomeo, era stata descritta dall'astronomo islamico Ibn al-Haytham (*Alhazen*, 965–c. 139) noto per i suoi contributi all'ottica.

La prima opera astronomica di ampio respiro redatta nell'Europa cristiana furono le *Tavole Alfonsine,* che ben presto sostituirono le vecchie *Tavole Toledane* redatte dagli astronomi arabi. [22] La compilazione delle tavole fu organizzata dal re Alfonso X di Castiglia e Leon e fu effettuata a Toledo intorno al 1252 da una cinquantina di astronomi. Analisi moderne eseguite al computer hanno dimostrato che furono calcolate adottando i modelli tolemaici dei moti planetari, con parametri solo occasionalmente modificati. Queste tavole rivestono una grande importanza nella storia dell'astronomia e nella storia delle scoperte geografiche. Infatti furono ampiamente utilizzate direttamente o in versioni sottoposte a revisioni, dai grandi navigatori del XV secolo e del XVI secolo. In particolare Cristoforo Colombo basò i suoi progetti di navigazione oceanica su una loro revisione effettuata da Abraham Zacuto (1452–1515), un astronomo ebreo spagnolo che si era formato all'Università di Salamanca e che fornì un importante contributo alla navigazione portoghese. Le Tavole ebbero anche una edizione a stampa prodotta a Venezia nel 1483.

www.nostronomics.com

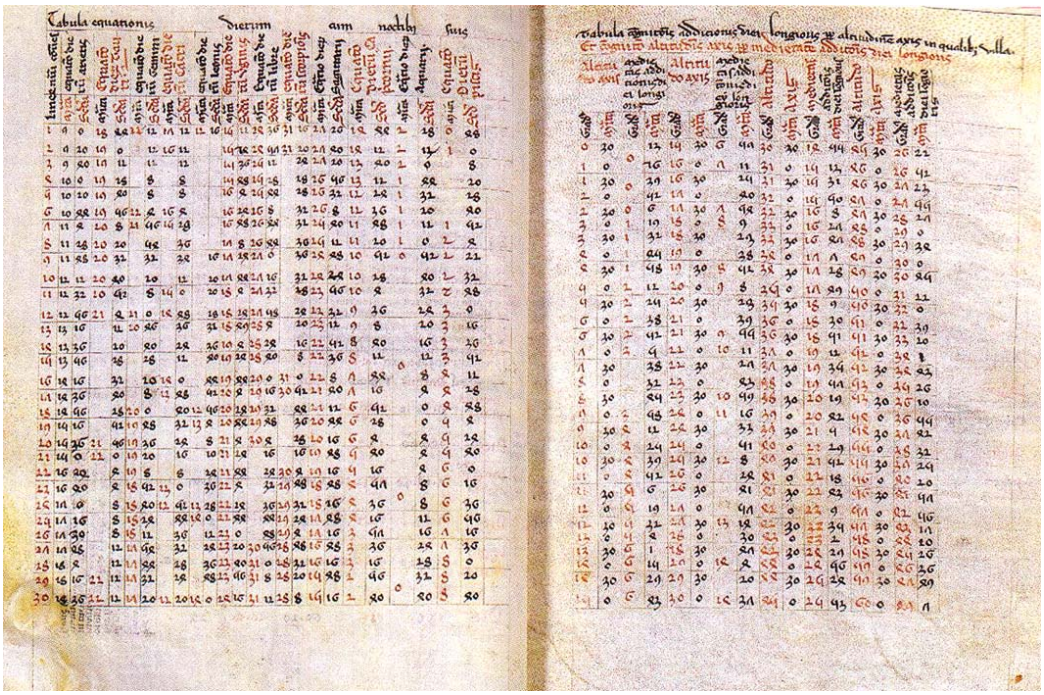

Figura 3.9 | Tabelas alfonsinas, El Libro del Saber de Astronomia. (Il libro della conoscenza astronomica). Le Tavole alfonsine sono tavole astronomiche in grado di fornire le posizioni del Sole, dei pianeti, delle stelle e le date delle eclissi. La compilazione delle tavole fu organizzata da Alfonso X re di Castiglia e di Leon, detto "el Sabio (il Saggio). Furono redatte a Toledo intorno al 1252 da una cinquantina di astronomi. (Wikimedia Commons; user Elvenbyte)

Accanto a questi sviluppi dell'astronomia pratica e sperimentale ci furono significative riflessioni su aspetti più teorici. Questi furono per lo più opera degli studiosi parigini della *Tarda Scolastica* (secoli XIV–XV), in particolare Giovanni Buridano (c. 1295–c. 1358) e Nicola Oresme (c. 1320–1382). La questione potrebbe essere formulata nel seguente modo. Se la Terra è ferma al centro dell'universo, occorre ammettere che le sfere dei pianeti e quella delle stelle fisse, che si trova a grandi distanze, girino attorno alla Terra in 24 ore per rendere conto del moto diurno di Sole, Luna, pianeti e stelle. Tutto sommato questo sembra piuttosto inverosimile, mentre sarebbe assai più ragionevole ammettere che la Terra sia sì al centro dell'universo, ma che il moto diurno sia in realtà un moto di rotazione del nostro pianeta sul suo asse. Ma quali erano gli argomenti contro questa ipotesi che attribuisce alla Terra un moto di rotazione? Significativamente si devono invocare argomenti di tipo balistico come il lancio di frecce, e non argomentazioni astronomiche. Se consideriamo il lancio di una frec-

www.nostronomics.com

cia in alto, in condizioni di assenza di vento, essa ricade nel punto in cui è stata scoccata. Aristotele aveva sostenuto che questa osservazione dimostrava che la Terra è ferma e non si è mossa durante il volo della freccia. Egli aveva messo in piedi una teoria dei moti dei proiettili immaginando che l'aria agitata desse origine ad una spinta in grado di prolungarne il moto anche dopo l'interruzione del contatto con il propulsore, nel caso della freccia, l'arco. Non sembra che sia stato troppo soddisfatto di questa soluzione poiché ne diede almeno due versioni incompatibili e su questo punto fu sempre dubbioso. [32]

I maestri parigini del Trecento non furono i primi ad additare l'assurdità di questa spiegazione: se fosse davvero così come dice Aristotele, come sarebbe possibile scoccare una freccia controvento? Oresme e Buridano ripresero allora un'idea già presente in Giovanni Filopono nel VI secolo, un pensatore del "rinascimento bizantino". [9] Secondo questa teoria l'arciere imprime una forza motrice che essi chiamarono *impetus*. Pertanto Oresme dichiarò che se la Terra si fosse mossa assieme all'arciere, una freccia lanciata in alto avrebbe condiviso con essa il suo moto laterale e sarebbe ricaduta nel punto di partenza. Se le cose sono in questi termini e la teoria dell'impetus è valida, allora non è possibile stabilire se la Terra si muove oppure no, semplicemente lanciando frecce in alto. Pertanto l'impetus è una prima formulazione del *principio d'inerzia*. Il recupero di questo tema, verosimilmente attribuibile ad Ipparco, dimostra quanto si cominci a prendere le distanze dal pensiero aristotelico. A questo riguardo è significativo richiamare una affermazione di Erone (*Mechanica*, I, iv, 20) relativa ai corpi che si trovano su un piano orizzontale e privo di attrito:

> "*Dimostreremo che i pesi che hanno una tale posizione possono essere mossi da una forza minore di qualunque forza data.*"

La dimostrazione di Erone, ottenuta considerando il piano orizzontale come caso limite di un piano inclinato con inclinazione tendente a zero, sarà riproposta da Galileo nei *Discorsi*. [9]

Se il secolo XII era stato quello delle traduzioni e il XIII quello dell'assimilazione, ora si poteva cominciare ad andare oltre la tradizione trasmessa dal periodo imperiale e diventava possibile riallacciare i primi ponti con il pensiero scientifico del periodo aureo ellenistico, il III secolo a. C. Diventava possibile ricostruire l'astronomia planetaria di Tolomeo. Questa era un'operazione tutt'altro che banale dal momento che nell'Almagesto non vi erano indicazioni su come elaborare l'algoritmo di cui era descritto l'uso. È significativo che Copernico per completare questo progetto dovrà scegliere l'ipotesi eliocentrica di Aristarco.

www.nostronomics.com

4 | Astronomia indiana

Se la storia dell'astronomia in Occidente può essere approssimativamente identificata con il lento processo di recupero delle conoscenze ellenistiche, altrove la storia delle idee dell'astronomia ha seguito percorsi differenti. Osserviamo come i concetti passino da una cultura all'altra, per poi prendere la strada inversa arricchiti di nuovi contributi. È il caso dell'India che ha ricevuto influssi dalle culture babilonese ed ellenistica, ma ha poi restituito conoscenze matematiche che fanno parte del bagaglio culturale di tutti noi: tra queste c'è senza dubbio lo *zero*. Lo studioso indiano Pingala, vissuto tra il IV e il II secolo a.C. e i suoi contemporanei, impiegarono il termine sanscrito *śūnya* (vuoto) per riferirsi allo zero. Il simbolo moderno 0 trae proprio la sua origine come immagine del vuoto o di lacuna. Pingala inoltre descrisse per primo un sistema di numeri binari in relazione alle sillabe corte o lunghe: una sorta di codice Morse. Il concetto di zero come numero e non solamente come un simbolo di separazione, è da attribuire ai matematici indiani i quali, a partire dal IX secolo d.C., effettuarono calcoli pratici impiegando lo zero considerato da essi come ogni altro numero. Inizialmente l'astronomia in India, come in molte altre culture, era profondamente collegata alle credenze religiose. Il primo riferimento testuale a concetti astronomici proviene dai *Veda*, i testi sacri indiani. In essi, in particolare nel *Rigveda,* si trovano considerazioni circa la genesi dell'universo tratto dalla non esistenza, la sfericità della Terra e l'anno di 360 giorni diviso in 12 parti di 30 giorni ciascuna, con un mese intercalare periodico. Le direzioni cardinali si trovano nel *Śulbasūtra* del I millennio a.C., un trattato che contiene applicazioni matematiche impiegate per la costruzione degli altari; si utilizzavano poi la matematica ed alcuni strumenti astronomici per calcolare la durata del giorno e il sorgere e tramontare del Sole.

Durante il periodo che va dal V al III secolo a.C. l'astronomia indiana introduce i metodi mesopotamici del periodo Achemenide attraverso l'Iran. Il *Jyotisa Vedanga,* redatto da Lagadha, risale a questo periodo e contiene un calendario lunisolare che adotta come unità di tempo 1/30 di mese sinodico (= 1 *tithi*). [33] Due frammenti di tavolette cuneiformi provenienti da Uruk, attualmente conservati al museo archeologico di Istanbul, mostrano lo stesso concetto di mese lunare medio di 30 giorni suddiviso in 30 unità di tempo uguali. Si ritrova ancora questa suddivisione nella teoria lunare e planetaria babilonese del periodo seleucide (III a.C.–I a.C.). I primi *Veda* e *Brahamanas* contengono liste di 27 o 28 costellazioni o *naksatras*, associate al moto della Luna, oltre a parametri approssimati, come i 12 mesi e i 360 "giorni" dell'anno o *nychthemera.* Sembra che le misurazioni del tem-

www.nostronomics.com

po venissero compiute per mezzo di orologi ad acqua cilindrici e mediante uno gnomone; inoltre erano specificate delle regole circa la quantità di acqua che doveva essere messa nel cilindro nei differenti periodi dell'anno. Il riferimento a questo orologio ad acqua, assieme ad altre indicazioni, induce gli studiosi a collegare il Jyotisa Vedanga e il gruppo di testi ad esso associato, con alcuni tra i primi testi cuneiformi mesopotamici di natura astronomica noti come *mul Apin* (687 a.C.). Lo gnomone, sostanzialmente una meridiana, era usato dagli astronomi babilonesi per misurare la variabilità della lunghezza del giorno, e venivano tabulate le lunghezze delle ombre gettate a mezzogiorno durante l'anno. Il fatto che fosse adottato in India il rapporto di 3:2 per la lunghezza del giorno nei solstizi d'estate e d'inverno, sebbene esso si riferisca rigorosamente ad una latitudine di 35°, quindi a nord di Babilonia, potrebbe essere interpretato come una indicazione dell'influenza e dell'autorevolezza dell'astronomia mesopotamica dell'epoca. Mentre Lagadha aveva affrontato solo problemi di calendario relativi ad anni solari, mesi sinodici, ore di luce diurna e moto medio del Sole e della Luna mediante i *naksatras*, gli astrologi erano anche interessati ai moti planetari. Credevano infatti che Sole, Giove e Venere cooperassero a stimolare la crescita delle piante e per questo motivo, cioè per studiare queste supposte "influenze" dei pianeti, si dovevano prevedere le retrogradazioni, i transiti e le congiunzioni con le costellazioni. Gli astronomi indiani di questo periodo operavano solamente con i moti medi; il tempo richiesto dal Sole medio per completare una rivoluzione nei cieli era definito come un anno *saura* o 12 mesi *saura*. L'intervallo di tempo tra due successive congiunzioni tra Sole e Luna, ovvero tra due lune nuove, era definito come mese lunare, dove 1 *tithi* = 1/30 mese lunare era 1 giorno lunare. Poiché 12 mesi lunari erano equivalenti a 354 giorni, in alcuni anni si doveva aggiungere il mese intercalare supplementare al fine di ottenere che l'anno *saura,* che iniziava con l'entrata del Sole nella costellazione dell'Ariete, non andasse "fuori fase" con l'anno lunisolare che iniziava invece con la congiunzione (o luna nuova) che precedeva immediatamente l'evento. Un'altra indicazione dell'influenza babilonese sull'astronomia indiana è l'identità dei periodi siderali di rivoluzione di Giove, Saturno e Venere e la lunghezza del mese lunare anomalistico nel *Pancha Siddhanta* di Varahamihira (VI secolo d.C.) con i valori trovati su tavolette cuneiformi del periodo seleucide. Questo antico trattato indiano risulta quindi un'utile fonte di informazioni sull'astronomia babilonese perché contiene altri parametri riguardanti i pianeti non rinvenuti in testi cuneiformi. I trattati *Paulisa* e *Romaka Siddhantas*, come suggeriscono i loro nomi, letteralmente "Dottrina di Paolo" da Paolo Alessandrino, un astrologo del IV secolo d.C. e "Dottrina dei romani", sono parte di una tradizione astrologica che

www.nostronomics.com

partendo dall'Egitto ellenistico, in un'epoca in cui ormai la scienza del periodo aureo si era contaminata con elementi esoterici, giunge in India e ritorna poi in Europa occidentale. Essi furono probabilmente basati su traduzioni dal greco nel IV secolo d.C. Il Paulisa Siddhanta è il primo trattato che introduce la nozione di *seno*, ritenuta derivare dalle opere di Ipparco. Un altra prova dell'influenza di Ipparco sull'astronomia indiana è l'uso nel Paulisa delle latitudini e longitudini "polari" e l'adozione della sua strana terminologia per esprimere archi di lunghezza su qualunque circolo in termini di costellazioni zodiacali. [33] La latitudine polare era la misura della distanza di un corpo celeste dall'eclittica lungo il meridiano che passa attraverso di esso, mentre la longitudine polare è la longitudine del punto di intersezione tra quel meridiano e l'eclittica. Questo metodo era adottato nei testi sanscriti per risolvere i problemi della visibilità e della congiunzione di pianeti e stelle. [33]

Nel 476 d.C., lo stesso anno in cui Odoacre diventava re al posto dell'ultimo imperatore romano d'Occidente, nasceva in India Aryabhata (476 d.C–550 d.C.), il più importante astronomo matematico dell'età classica indiana. [34] Gli studi storici su Aryabhata iniziarono nel 1874 quando H. Kern per primo pubblicò il testo sanscrito dell'unico trattato esistente, *Aryabhatiya*. Le sue opere più importanti sono l'Aryabhatiya del 499, un nome attribuito dai commentatori successivi, scritto quando aveva 23 anni, e *Aryasiddhanta*. Aryabhatiya è un compendio di matematica e astronomia a cui ci si riferì spesso nella letteratura matematica indiana. Le parti dell'opera inerenti la matematica riguardano l'aritmetica, l'algebra, la trigonometria piana e sferica, oltre a frazioni, equazioni quadratiche, somme di serie di potenze e tavole dei seni. È inevitabile un paragone con le elementari conoscenze matematiche che Boezio in quegli anni tentava di salvare in Occidente. Aryasiddhanta è un'opera su calcoli astronomici che non ci è giunta, ma che conosciamo attraverso gli scritti di Varahamihira (505 d.C.–587 d.C.) un contemporaneo di Aryabhata, e mediante successivi matematici e commentatori tra cui Brahmagupta e Bhaskara I. Questo trattato sembra basarsi sul precedente *Surya Siddhanta*, contiene una descrizione di diversi strumenti astronomici tra cui lo gnomone, alcuni strumenti per misurare angoli ed orologi ad acqua. Una terza opera che potrebbe essere sopravvissuta in una traduzione araba è *Al ntf* (oppure *Al-nanf*). Nel testo giunto fino a noi si sostiene che si tratti di una traduzione di un'opera di Aryabhata, tuttavia il nome sanscrito di questo lavoro non ci è noto, ma probabilmente l'opera risale al IX secolo d.C. ed è menzionata dallo studioso persiano Abu Rayhan al-Biruni. Il periodo in cui visse Aryabhata coincise con il regno di Buddhagupta (477 d.C.–497 d.C.) l'ultimo grande sovrano della dinastia Gupta, l'epoca aurea dell'antica scienza

www.nostronomics.com

indiana. *Aryabhatiya* è un compendio di matematica e astronomia scritto in uno stile estremamente stringato; è composto da 123 versi (*sutras*) divisi in quattro capitoli. Il capitolo relativo alla matematica (*Ganita*) consiste di 33 versi e sebbene questa parte dell'opera non sia una esposizione sistematica ed esaustiva della matematica del suo tempo, esercitò tuttavia una grande influenza non solo sullo sviluppo della matematica in India ma anche, attraverso gli Arabi come intermediari, sulla nascente matematica europea. [33] Il matematico arabo al-Khwarizmi scrisse un trattato sulla matematica indiana di cui è rimasta solamente la traduzione latina, probabilmente opera di Adelardo di Bath, intitolata *Algoritmi de numero indorum*. Si ritiene che per mezzo di questa opera, ispirata alla matematica di Aryabhata, la *notazione posizionale decimale* di origine indiana sia giunta in Europa dove si adottavano ancora i numeri romani.

Il sistema astronomico di Aryabhata è caratterizzato da diversi elementi: rotazione terrestre, spiegazione delle eclissi lunari e solari in termini di ombre al posto della tradizionale mitologia, e modello ad epiciclo ed eccentrico per i moti planetari. Nell'antica astronomia indiana si riteneva che le eclissi fossero causate da due demoni, *Rahu* e *Ketu*, collocati ai nodi dell'orbita lunare. Nel verso IV,9 di Aryabhatiya, l'autore paragona chiaramente il moto apparente delle stelle con gli oggetti stazionari visti da un osservatore su una nave. Questo moto diurno attribuito alla Terra non implica in alcun modo un moto orbitale eliocentrico della Terra, come risulta evidente in altri versi, III,15 e IV, 6, secondo i quali la Terra è situata al centro dello spazio, circondata dalle orbite dei pianeti. A questo proposito occorre ricordare le ricerche del matematico e storico della scienza Bartel Leendert van der Waerden (1903–1996). [35] Lo studioso olandese ritiene che il sistema cosmologico di Aryabhata mostri tracce di un sistema eliocentrico precedente di origine ellenistica dal quale sarebbe derivato; Seleuco potrebbe esserne l'origine. In base a quanto abbiamo visto circa i diversi "rinascimenti" è del tutto ragionevole immaginare che testi ellenistici a noi sconosciuti possano aver preso la via dell'India e aver ispirato gli studiosi di quella cultura. L'affermazione di Aryabhata del moto di rotazione della Terra non sarà però accettata da molti degli astronomi indiani a lui successori. Aryabhata fornisce anche delle formule per la lunghezza e il diametro dell'ombra terrestre, il tempo di durata delle eclissi e le dimensioni della parte eclissata del Sole e della Luna. La teoria delle eclissi lunari deve essere stata perfezionata successivamente per opera di altri astronomi indiani. L'accuratezza del metodo indiano di calcolo delle eclissi può essere stimata da un rapporto dell'astronomo francese Guillaume Le Gentil (1725–1792) sull'eclissi lunare del 30 agosto 1765. Egli si trovava in quegli anni nella regione indiana per seguire i transiti di Venere sul So-

www.nostronomics.com

le, e dichiarò che la durata dell'eclissi, secondo i calcoli di un astronomo Tamil, risultava essere di soli 41 secondi troppo corta, mentre lo stesso calcolo riportato dalle famose tavole di Tobias Mayer del 1751 risultava troppo lungo di ben 68 secondi. [34] Tuttavia per quanto riguardava la durata della fase di totalità, le tavole di Mayer risultarono migliori del metodo tamil. Resta il fatto che gli algoritmi indiani che risalivano ad Aryabhata erano paragonabili, se non addirittura migliori, di quelli europei del XVIII secolo. Aryabhatiya divenne l'opera astronomica più significativa del VI secolo d.C.; ciò è dovuto al suo carattere di compendio non solamente dei fondamenti dell'astronomia ma anche della matematica ad essa relativa. I capitoli dedicati alle tecniche matematiche resero più semplice ai successori di Aryabhata apprendere rapidamente l'arte dei calcoli astronomici. L'importanza di questo trattato può essere valutata dalla circostanza che oltre ai molti lavori prodotti sulla base del suo sistema astronomico, come quelli di Brahamagupta (598–628) e Bhaskara I (VII secolo), furono redatti una dozzina di commentari sull'Aryabhatiya tra il VII e il XVIII secolo. Non meraviglia quindi che quest'opera abbia inaugurato in India un'era durante la quale la matematica, in particolare l'algebra e la trigonometria, furono sviluppate da semplice strumento per l'astronomia quale era all'inizio, fino a diventare una vera e propria disciplina autonoma.

Ad Aryabhata fu dedicato il primo satellite artificiale indiano, lanciato dall'Unione Sovietica il 19 aprile 1975; si trattava di un satellite costruito dall'*Indian Space Research Organization* (ISRO) per osservazione dei raggi X e per la fisica solare.

Nella storia della scienza in India un ruolo significativo fu svolto dalla *scuola di Kerala,* un importante centro di studi di astronomia e matematica fondato da Madhava di Sangamagrama (c. 1340–1425), un astronomo e matematico vissuto a Kerala nell'India meridionale. La scuola fiorì tra il XIV e il XVI secolo e le scoperte originali della scuola sembrano concludersi con Narayana Bhattathiri (1559–1632). Nel tentativo di risolvere vari problemi di astronomia la scuola di Kerala creò indipendentemente diversi concetti matematici. I più importanti risultati, come l'espansione in serie di funzioni trigonometriche, furono descritti in sanscrito in un'opera in versi di Nilakanthan Somayaji (1444–1544). Si può affermare con sicurezza che i metodi sviluppati dai matematici di Kerala erano molto più avanzati di quelli sviluppati dagli europei loro contemporanei. Nel 1500 Nilakanthan Somayaji riesaminò il modello di Aryabhata relativo ai pianeti Mercurio e Venere; le sue equazioni del centro dei moti di questi pianeti rimasero le più accurate fino al tempo di Johannes Kepler. Nel trattato *Aryabhatiyabhasya*, un commento dell'opera di Aryabhata, Somayaji sviluppò un suo sistema di calcolo per un modello parzialmente eliocen-

www.nostronomics.com

trico nel quale Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno orbitano attorno al Sole che a sua volta orbitava attorno alla Terra fissa. È quindi un modello simile a quello proposto da Tycho Brahe nel XVI secolo. Tuttavia il modello dell'astronomo indiano era più efficiente di quello Tychonico perché prendeva correttamente in considerazione l'equazione del centro e il moto latitudinale di Mercurio e Venere. La maggior parte degli astronomi di Kerala accettarono il modello planetario di Somayaji.

Al momento attuale le conoscenze sull'astronomia indiana rimangono incomplete. Il grande storico della scienza Otto Neugebauer (1899–1990) si è così espresso in proposito [34]:

> "*Nonostante il lavoro pionieristico svolto da H.T. Colebrook (1765–1837), G. Thibaut (1848–1914), ed altri, lo studio dell'Astronomia Hindi è ancora al suo inizio. La massa del materiale manoscritto non studiato in India, come pure nelle collezioni occidentali, è enorme.*"

— O. Neugebauer, A History of Ancient Mathematical Astronomy, Springer Verlag, Berlin, 1975

5 | Manoscritti perduti

Prima di passare a considerare l'opera di Copernico e le scoperte geografiche, occupiamoci di un'altra questione affascinante: è possibile che nel periodo rinascimentale esistessero manoscritti scientifici del periodo ellenistico oggi non più disponibili? Se cerchiamo di ricostruire il clima culturale tra il XIII e il XVI secolo ci accorgiamo che di tanto in tanto emergono tracce molto esplicite circa l'esistenza di opere scientifiche dell'antichità a noi ignote. Si tratta di sporadiche, ma significative testimonianze che attestano la presenza in epoca medievale e rinascimentale di opere che hanno plasmato le idee dei pensatori più acuti

Nel Cinquecento ripresero vigore in particolare gli studi di anatomia, soprattutto ad opera di Andrea Vesalio (1514–1564) e di Gabriele Falloppio (1523–1562). Come per l'astronomia, il maggior risultato fu la riscoperta, grazie a manoscritti bizantini, della scienza ellenistica del III secolo a.C., che rappresentò un superamento della tradizione risalente all'età imperiale, in parte già acquisita attraverso gli Arabi di Spagna. Come Tolomeo fu superato da Copernico usando Aristarco, così nel campo della medicina, Galeno fu superato tentando il recupero di Erofilo di Calcedonia (c. 335 a.C.–c. 280 a.C.). [9] Falloppio, oltre a scoprire le *Tube di Falloppio*, già descritte da Erofilo, scoprì anche, tra l'altro, l'*acquedotto di Falloppio*, cioè il

www.nostronomics.com

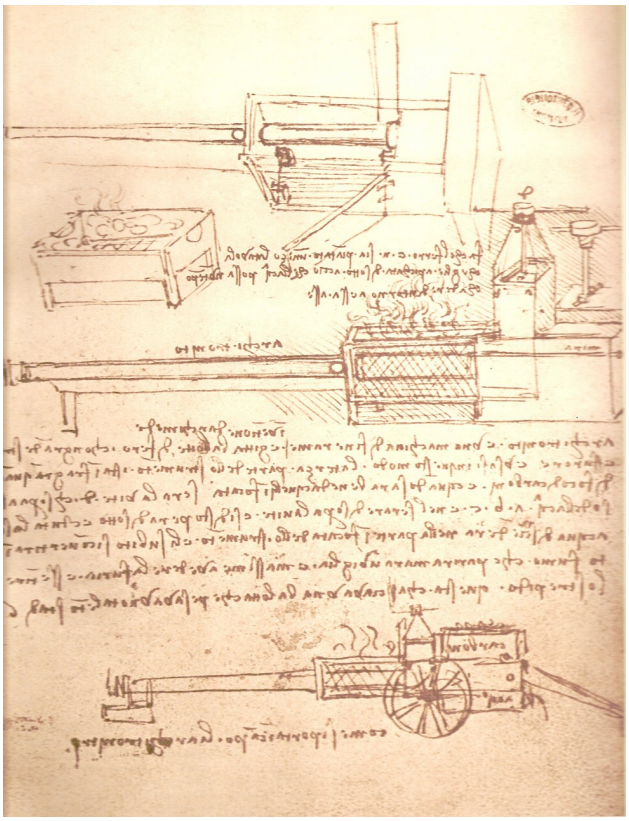

Figura 3.10 | Leonardo da Vinci, Architronito. Manoscritto B, l'Institut de France. (Ms. B, c. 33r) Leonardo descrive e disegna questo cannone a vapore attribuendone l'invenzione ad Archimede. Anche Francesco Petrarca accenna a un dispositivo simile che non ci è noto da alcuna altra fonte. Il primo a suggerire la costruzione di cannoni a vapore è stato Ctesibio (III secolo a.C.), ma le sue opere sono perdute. (Wikimedia Commons; user OWK)

foro della rocca temporale attraversato dal nervo facciale, anch'esso già descritto da Erofilo. Egli riconosceva l'autorità di Erofilo al punto che giunse a scrivere: "*Herophili auctoritas apud me circa res anatomica est Evangelium*".

Lucio Russo sottolinea come sia inverosimile che Falloppio possa essere arrivato a tali convinzioni conoscendo Erofilo, come noi, solo attraverso tarde citazioni, soprattutto di Galeno. [9] È al contrario possibile che Falloppio possa aver scoperto sia le trombe uterine, sia molte altre strutture anatomiche, direttamente negli scritti di Erofilo. Se nel XVI secolo fosse sopravvissuta qualche opera di Erofilo non sarebbe stato certo nell'interesse del medico possessore di un tale tesoro divulgare il contenuto facendola pubblicare. Sebbene sia assai difficile esibire delle prove, non vi sono però motivi per credere che tutte le opere ellenistiche disponibili nel Rinascimento si siano conservate fino ad oggi, né che quelle conservate siano state tutte stampate o siano comunque note.

Un'innovazione tecnologica medioevale che nei secoli successivi avrebbe trovato molte applicazioni in campo astronomico, tra cui la risoluzione del problema della longitudine in mare, e la preparazione dei cataloghi astronomici, fu l'orologio meccanico. Abbiamo già esaminato l'Astrarium,

www.nostronomics.com

che ha un immediato precedente nell'orologio astronomico di Richard of Wallingford (c. 1292–1336), abate di St. Albans in Inghilterra, il quale ha lasciato una dettagliata descrizione del meccanismo. [22]

Gli storici si sono sempre domandati come mai l'orologio meccanico fin dal suo primo apparire in Europa non fosse primitivo ed elementare, ma al contrario si presentasse come già sofisticato e molto complesso. Possiamo solamente avanzare delle congetture. Sembra esserci un vuoto di circa 14 secoli tra la macchina di Antikythera e questi orologi del Trecento europeo. Ma sappiamo anche che la relazione tra scienza e tecnologia era ben chiara ai pensatori islamici. Avicenna (Ibn Sina; c. 980–1037) nel *Trattato sulla Saggezza,* elenca diverse scienze che dipendono dalla geometria, tra queste, la scienza degli automi, quella degli strumenti di misura e la scienza delle lenti. Nell'Islam la corporazione dei costruttori di automi, i "meccanismi meravigliosi", fu fiorente per secoli e lo storico Derek J. De Solla Price (1922–1983) ha osservato una stretta analogia tra la macchina di Antikythera e un meccanismo di al-Biruni prodotto attorno all'anno 1000, come anche l'esistenza di una serie di orologi cinesi tra il II e l'XI secolo d. C. con particolari simili alla macchina di Antikyhtera, ai meccanismi islamici, e agli orologi astronomici del Trecento, compresa la forma dei denti degli ingranaggi. Le testimonianze storiche relative a questa tecnologia evidenziano la circostanza secondo cui in nessuna di queste "riscoperte" si osserva una evoluzione, ma al contrario i meccanismi appaiono in forma già complessa. Ciò induce ad ipotizzare l'esistenza di manoscritti, a noi sconosciuti, con accurate descrizioni di meccanismi ad orologeria a cui ci si sarebbe ispirati. [9]

In questo contesto si situano certe annotazioni di Leonardo da Vinci (1452–1519). Alcuni dei libri letti da Leonardo su Archimede dovevano contenere informazioni oggi non più disponibili. Leonardo ad esempio, descrive e disegna un cannone a vapore, l'*Architronito* (Manoscritto B, l'Institut de France; Ms. B, c. 33r), attribuendone l'invenzione ad Archimede. [36] Anche Francesco Petrarca (1304–1374) nel *De remediis utriusque fortunæ*, accenna a questo misterioso dispositivo altrimenti sconosciuto. Forse non è casuale che Petrarca fosse amico e corrispondente di Giovanni Dondi, il costruttore dell'*Astrarium*, il cui padre, Jacopo aveva accesso a fonti che riportavano la teoria ellenistica luni-solare delle maree. Sembrerebbe che questi intellettuali facessero parte di un ambiente in cui circolavano diversi manoscritti oggi perduti.

Il cannone a vapore disegnato da Leonardo è stato recentemente ricostruito al M.I.T. Si tratta del prototipo denominato *The ArchiMITes's steam cannon* ed è stato testato il 5 novembre 2006. [37] Il disegno leonardesco è stato interpretato in passato come se avesse un'iniezione diretta, dove

www.nostronomics.com

l'acqua rapidamente spruzzata in una culatta calda produce una esplosione di vapore che lancia il proiettile. Ma alcuni calcoli compiuti dal gruppo dell'M.I.T. hanno suggerito che le cose potrebbero essere diverse perché la culatta non potrebbe fornire sufficiente energia per produrre un vapore ad alta pressione. Gli studiosi del *ArchiMITes* sono quindi giunti alla conclusione che l'iniezione diretta produrrebbe solamente un piccolo sbuffo e ritengono che esista un altro modo per interpretare i disegni di Leonardo. Tuttavia hanno deciso di non rivelare la loro interpretazione dell'Architronito perché "*the solution is so simple, effective, and dangerous that we have decided not to disclose the details*." Immagini riprese durante il test con una high-speed camera hanno mostrato che alla bocca di fuoco la velocità era di 300 m/s.

Quale poteva essere allora la fonte di Leonardo e Petrarca? Il primo a suggerire la costruzione di un cannone a vapore è stato Ctesibio di Alessandria (c. 285 a.C.–222 a.C.), contemporaneo di Archimede. [38] Scrisse i primi trattati sull'uso delle pompe e dell'aria compressa. I suoi lavori sono andati perduti, ma troviamo le loro caratteristiche essenziali nella *Meccanica* pubblicata dal suo immediato successore, Filone di Bisanzio (280 a.C.–220 a.C.), di cui sono giunti fino a noi diversi frammenti. È ragionevole pensare che al tempo di Leonardo esistesse un manoscritto con disegni del cannone di Ctesibio a noi sconosciuti, e che lo scienziato italiano ha erroneamente attribuito ad Archimede. Tuttavia qualunque conclusione sull'Architronito deve essere necessariamente considerata incerta dal momento che è generalmente accettata l'opinione secondo cui sia sopravvissuta molto meno della metà dei manoscritti di Leonardo. Chi si entusiasma per i disegni di Leonardo da Vinci e li definisce "avveniristici" dovrebbe accostarli ai congegni di Erone di Alessandria (c. 10 a.C.–c. 70 d.C.). Pochi lo hanno fatto a causa della scarsa diffusione delle opere di quest'ultimo. [9] Molti dei congegni per i quali Leonardo è famoso, come torchi, demoltipliche, macchine per filettare viti, "ruote a vento", eccetera, quando non sono copie dei disegni di Erone, ne sono fortemente ispirati. In altri casi, come quello delle catene di trasmissione, la sua fonte è Filone di Bisanzio (280 a.C. –220 a.C.). Anche altre informazioni contenute nei manoscritti di Leonardo sembrano basate su fonti non più disponibili. Dov'è che Leonardo ha letto della possibilità di ingrandire gli oggetti lontani, costruendo uno strumento utile, in particolare, per osservare le macchie lunari? (Codice E dell'Istituto di Francia, 15 b). Si può congetturare che Leonardo avesse usato la stessa fonte che avrebbe permesso qualche tempo dopo a Girolamo Fracastoro (1478–1553), nel 1538, di essere un po' più preciso, accennando all'uso di due lenti, anche perché Fracastoro, medico, poeta e umanista, accenna anch'egli all'uso di uno strumento per osser-

www.nostronomics.com

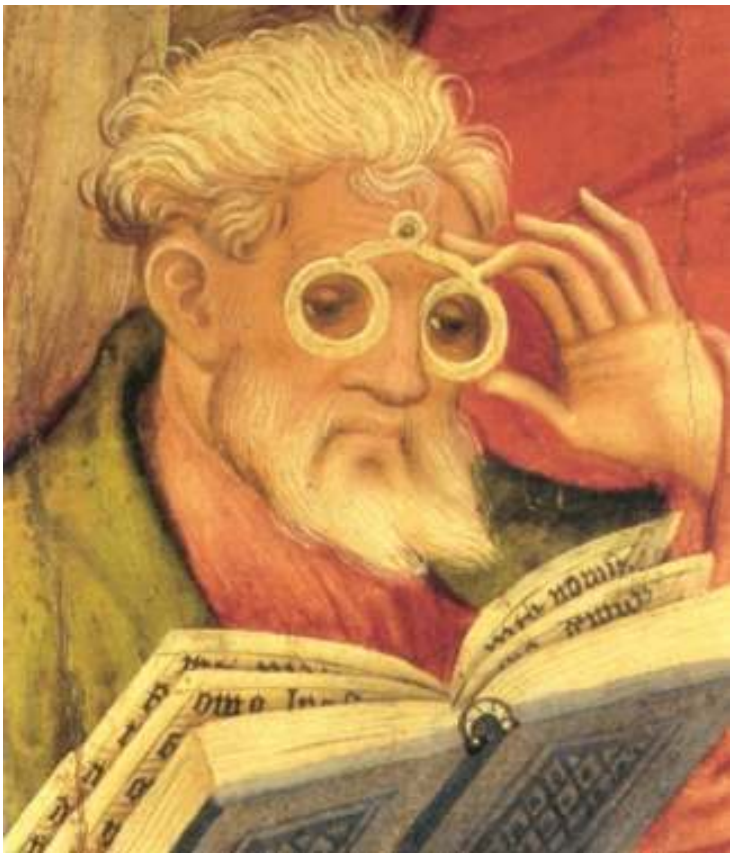

Figura 3.11 | L'apostolo "con gli occhiali nella pala d'altare della chiesa di Bad Wildungen, Germania. Dipinto da Conrad von Soest nel 1403; forse la più antica rappresentazione di occhiali a nord delle Alpi. (Wikimedia Commons; user Gun Powder Ma)

vare la luna (G. Fracastoro; *Homocentrica sive de stellis,* II, viii; III xxiii). È certo comunque che né Leonardo né Fracastoro riuscirono a descrivere in dettaglio i cannocchiali di cui parlarono e, tanto meno, a costruirli. [9]

In realtà la possibilità di costruire cannocchiali era nota ben prima di Leonardo da Vinci e Fracastoro, poiché Ruggero Bacone (c. 1214–1294) nell'*Opus Maius*, Libro V, parla con entusiasmo della capacità degli "Antichi" di ingrandire gli oggetti piccoli e di avvicinare quelli lontani con opportune combinazioni di lenti e specchi, pur non riuscendo ad esporre una teoria ragionevole neppure nel caso di una lente singola. Prima di Bacone, la possibilità di usare i fenomeni di rifrazione per costruire microscopi e cannocchiali era stata lucidamente esposta da Roberto Grossatesta (c. 1175–1253) che nel *De iride* (intorno al 1230) riferisce di una parte dell'ottica sconosciuta ai latini, ma nota ad Aristotele, che riguardava il passaggio di un raggio attraverso più corpi trasparenti e che "*ci mostra il modo in cui possiamo far apparire vicinissime le cose molto lontane*" (*De iride*, 73–74). [39] Forse Grossatesta conosceva un'opera greca, attribuita ad Aristotele, sulle applicazioni della rifrazione.

www.nostronomics.com

A questo proposito può essere utile ricordare una strana serie di dati fornita da Tolomeo nella sua opera *Ipotesi planetarie*, relativa alle dimensioni dei pianeti. [31] Tolomeo dichiara ad esempio che Giove ha un diametro apparente di 1/12 del Sole, un diametro assoluto di oltre 4 volte quello della Terra, ed un volume circa 82 volte quello terrestre; anche Saturno avrebbe dimensioni analoghe. Questi dati sono interessanti per diverse ragioni, ma non pare che finora abbiano attirato molto l'interesse degli studiosi. Innanzi tutto se si è in possesso di una stima delle dimensioni dei pianeti e questa indica che alcuni tra loro sono più grandi della Terra, è difficile sostenere che siano essi a girare attorno a noi. Non è un caso, infatti, che Aristarco, autore del breve trattato *Sulle dimensioni e distanze del Sole e della Luna*, sia stato il primo a fornire una stima della distanza e delle dimensioni del Sole e sia stato anche un sostenitore dell'ipotesi eliocentrica. Analogamente nel XVII secolo, Galileo userà la scoperta delle lune di Giove, astri più piccoli che orbitano attorno ad un corpo di dimensioni maggiori, come argomento a sostegno dell'eliocentrismo. In altri termini, affermare che la Terra è "piccola" è un formidabile argomento a favore dell'eliocentrismo. Nulla di tutto questo naturalmente si trova nelle *Ipotesi planetarie* di Tolomeo; egli non trae alcuna conseguenza dai dati sulle dimensioni dei pianeti. Verosimilmente questo è un ulteriore indizio del rapporto di Tolomeo con le sue fonti. Quando tratta lo stesso argomento in più opere cambia ogni volta il metodo usato senza citare mai se stesso. [9] Per esempio il fenomeno dell'apparente aumento delle dimensioni degli oggetti celesti presso l'orizzonte è studiato sia nell'*Almagesto* sia nell'*Ottica*. Ma le spiegazioni che fornisce sono completamente differenti nei due casi: l'una basata sulla rifrazione, l'altra ricorrendo alla psicologia, e nessuna delle due cita l'altra.

La serie di dati relativi alle dimensioni dei pianeti richiede una riflessione. Infatti l'aspetto dei pianeti e delle stelle in cielo è solo approssimativamente puntiforme se osservato ad occhio nudo, ciò a causa della *diffrazione* che ne distribuisce la luce su un impercettibile dischetto ed è per questo motivo che a noi sembra di vedere dei "raggi". L'unica cosa che distingue i pianeti dalle stelle è il fatto che la loro luce non palpita a causa della *scintillazione atmosferica*, cioè la rapida variazione della luminosità apparente o del colore di un oggetto osservato attraverso l'atmosfera. Gran parte degli effetti provocati dalla scintillazione sono causati da un'anomala rifrazione determinata da fluttuazioni su piccola scala della densità dell'aria. Pertanto se osserviamo un pianeta ad occhio nudo esso non scintilla né presenta alcun diametro percepibile.

Quindi i casi possibili sono due: o Tolomeo (e le sue fonti) identificano grossolanamente la *magnitudine apparente* di un pianeta con le sue "di-

www.nostronomics.com

Figura 3.12 | Hermannus Contractus. È rappresentato un tubo la cui funzione è sconosciuta. Anche una miniatura di un codice del XV secolo conservato alla Biblioteca Marciana di Venezia mostra un astronomo che osserva con un tubo. (Vedere in John Gribbin, "Enciclopedia dell'Astronomia e della cosmologia Garzanti", 1998; op. orig. "Companion to the Cosmos", Orion Publishing, 1996.) (Wikimedia Commons; user GDK)

mensioni", oppure Tolomeo omette dei dettagli sul significato e l'origine di questi dati. La prima ipotesi, quella che identifica dimensioni con magnitudine, presenta delle difficoltà. Tolomeo afferma che Mercurio ha un diametro apparente (in diametri del Sole) di $1/15$, dunque confrontabile con quello riferito per Giove, pari a $1/12$, eppure c'è una sproporzione tra le loro *magnitudini apparenti*. Infatti Mercurio oscilla tra $-0,4$ e $+5,5$ a seconda della sua posizione rispetto alla Terra e al Sole, mentre Giove, variando da $-1,6$ a $-2,8$ è decisamente più luminoso. Si tenga conto che per ragioni storiche le magnitudini negative indicano luminosità maggiori di quelle positive. È sufficiente un minimo di dimestichezza con l'osservazione astronomica per rendersi conto che le magnitudini di Mercurio e Giove sono del tutto differenti. Tra l'altro fu proprio Tolomeo nell'Almagesto a riferire della scala di magnitudini inventata da Ipparco che divideva le stelle visibili ad occhio nudo in sei classi di magnitudini. Le stelle più luminose erano dette di prima magnitudine ($m = +1$), quelle brillanti la *metà* di queste erano classificate di seconda magnitudine, e così via fino alla sesta magnitudine ($m = +6$), al limite della visibilità umana.

www.nostronomics.com

Sembra quindi ragionevole cercare un'interpretazione meno banale per questi dati. Plutarco nel *De facie* accenna ad una teoria ottica di Ipparco, secondo la quale la luce sarebbe soggetta a cambiamenti di direzione analoghi alle deviazioni subite dagli atomi come sostenuto dagli Epicurei; sembrerebbe la descrizione di studi sulla rifrazione. [9] Forse Ipparco aveva trovato la maniera di applicare le sue conoscenze sulla rifrazione realizzando un semplice sistema di lenti, cioè un telescopio a basso ingrandimento, che gli permise di stimare le dimensioni angolari dei pianeti.

Si è sostenuto che alcune immagini in manoscritti medioevali dove vengono rappresentati tubi con cui astronomi osservano il cielo, siano dei cannocchiali. Lo storico De Solla Price, in "*A History of Technology*", Oxford, 1956, descrive due illustrazioni, una contenuta in un manoscritto di San Gallo del 982 contenente un'opera di Gerberto d'Aurillac e un'altra in un manoscritto del XIII secolo. Lo studioso non esclude che si trattasse realmente di cannocchiali, ma non fornisce la fonte delle sue informazioni. È possibile che fossero tubi vuoti impiegati come paraluce o per puntare una sfera armillare verso la stella polare. La questione rimane oscura e non sufficientemente studiata dagli storici. Tuttavia il punto significativo non è se nel medioevo esistessero dei cannocchiali, che peraltro non hanno avuto nessun ruolo nell'astronomia medievale, ma se fosse disponibile un trattato ellenistico a noi sconosciuto, sulla rifrazione; la testimonianza di Grossatesta lo farebbe supporre. Ciò rafforzerebbe l'ipotesi che la *dioptra* greca fosse dotata di lenti come abbiamo ipotizzato nel Capitolo 2.

www.nostronomics.com

4 Rivoluzioni

1 | Rivoluzione geografica

La riscoperta di opere di geografia del periodo ellenistico ebbe conseguenze di portata incalcolabile. Dal momento che nella misurazione delle posizioni dei luoghi sulla terra si erano adottati nell'antichità metodi basati sull'astronomia, siamo di fronte ad un esempio significativo di idee astronomiche che cambiano, letteralmente, la nostra visione del mondo. Inoltre le conseguenze delle scoperte geografiche di Cristoforo Colombo avranno ripercussioni che favoriranno un'altra rivoluzione, quella copernicana.

Esiste una profonda differenza tra la geografia matematica ellenistica e le opere geografiche della Grecia classica, di Roma o del medioevo che

sono puramente descrittive. La geografia matematica quale noi la conosciamo dall'unica opera del genere conservata, la *Geografia* di Tolomeo, è sotto ogni aspetto una teoria "scientifica" al pari di quella moderna. Infatti la moderna geografia non è altro che quella di Tolomeo, recuperata dagli studiosi rinascimentali; si tratta di un vero *modello matematico* in cui ad ogni luogo della Terra corrisponde un punto di una superficie sferica individuato da una coppia di coordinate: *latitudine* e *longitudine*. Tolomeo descrive anche la cartografia, sa usare cioè diverse proiezioni, tra cui le proiezioni coniche di cui sfrutta le proprietà matematiche per rappresentare la Terra su carte piane in modo da conservare tutta l'informazione relativa alla rappresentazione di una superficie sferica e riporta latitudine e longitudine di circa 8.000 località dall'Irlanda al Sud-Est asiatico. [9] Nonostante un luogo comune radicato attribuisca a Keplero la prima applicazione della teoria delle coniche, queste curve avevano già avuto diverse applicazioni, come mostra Tolomeo nella sua *Geografia*. La geografia matematica risaliva al primo ellenismo quando, a causa all'espansione del mondo greco in seguito alle conquiste di Alessandro Magno, divenne indispensabile ottenere una descrizione quantitativa di tutto il mondo conosciuto. Già l'allievo di Aristotele Dicearco di Messina (350 a.C.–290 a.C.) aveva fatto il primo passo verso la costruzione di una geografia matematica, individuando un parallelo, elencando cioè una serie di località tutte poste alla stessa latitudine da Gibilterra alla Persia. Strabone riferisce che Cratete di Mallo, in Cilicia, nell'attuale Turchia, realizzò un globo terrestre: sarebbe quindi il primo mappamondo di cui abbiamo notizia (Strabone, *Geographia*, II, v, 10 [40]). Cratete, un grammatico e filosofo stoico greco del II secolo a. C., si interessava principalmente della critica e dell'esegesi di Omero ed era a capo della Biblioteca di Pergamo dove, secondo Plutarco, erano conservati 200.000 libri. Nel II secolo a. C. la geografia matematica progredì soprattutto ad opera di Ipparco di Nicea che, criticando i metodi dei suoi predecessori, aveva avuto l'idea di determinare le differenze di longitudine con metodi astronomici, misurando cioè la differenza tra l'ora locale di luoghi differenti in cui la stessa eclissi lunare era osservata simultaneamente (Strabone, *Geographia*, I, i, 12 [41]).

Il sistema di coordinate sferiche fu recuperato nel XV secolo quando giunse in Europa una copia della *Geografia* di Tolomeo, mentre la riscoperta di strumenti ellenistici, quali l'astrolabio piano, permise ai marinai di determinare la latitudine in mare aperto per mezzo di osservazioni astronomiche. Diversamente, il problema della determinazione della longitudine, assai più complesso, verrà risolto, dopo molti e differenti tentativi, soltanto nel XVIII secolo con la tecnologia degli orologi meccanici. Divennero così realizzabili quei lunghi viaggi in mare aperto che nel medioevo

www.nostronomics.com

erano stati impossibili. La *Geografia* è composta da otto libri, il primo dei quali espone le basi teoriche, mentre i successivi sei sono dedicati alle diverse parti del mondo conosciuto e contengono soprattutto le coordinate delle località. L'ottavo e ultimo libro impiegava le informazioni contenute nei libri precedenti per disegnare carte di tutto il mondo noto: 27 mappe, una generale e le restanti per le regioni particolari, che però non sono giunte fino a noi, a causa della difficoltà di copiarle si sono perse durante il processo di trasmissione del manoscritto. Nella tarda antichità la *Geografia* di Tolomeo era ben nota sia nel mondo greco sia in quello latino. Essa è alla base della descrizione del mondo abitato compilato da Pappo di Alessandria intorno al 300 d.C. ed è citata da Ammiano Marcellino (c. 330 d.C.–c. 391 d.C.), uno storico romano che descrisse tra l'altro lo tsunami che colpì Alessandria il 21 luglio 365. Verso la metà del VI secolo la *Geografia* venne poi citata da Cassiodoro. Successivamente se ne perdono le tracce nell'Europa occidentale, mentre continua ad essere ben nota nel mondo bizantino fino al XII secolo, quando Giovanni Tzetzes (c. 1110 – 1180) include nelle sue *Chiliadi* una trasposizione in versi di alcuni passi dell'opera. Dopo di allora, per circa un secolo, la *Geografia* sembra dimenticata anche a Costantinopoli. Nel frattempo il mondo islamico l'aveva conosciuta, forse solo indirettamente, fin dal IX secolo. Intorno al 1300 l'opera viene ritrovata dallo studioso bizantino Massimo Planude (c. 1260–1330) che ne ricostruì le mappe perdute sulla base del testo e la tradusse in latino. Dopo l'edizione latina del 1406 da parte di Jacopo d'Angelo da Scarperia (c. 1360–c. 1410), un latinista e grecista segretario di papa Alessandro V, furono preparate varie carte sulla base dei dati di Tolomeo, promuovendo una rinascita della cartografia che fornì un fondamentale contributo ai viaggi di esplorazione. Più tardi d'Angelo riuscì a portare in Europa una copia dell'opera da Costantinopoli. La *Geografia* fu pubblicata a stampa nel 1477 e nel 1482 Francesco Berlinghieri (1440–1501) stampò la prima edizione in lingua volgare italiana. Per rendersi conto dell'importanza di questa pubblicazione basti confrontare una carta geografica europea precedente, ad esempio la *Hereford Mappa Mundi* disegnata attorno al 1300 in Inghilterra, dove i continenti sono irriconoscibili, separati da sottili linee d'acqua e il mondo è un disco con al centro Gerusalemme, con la carta del 1492 di Martin Behaim. Il testo greco fu stampato per la prima volta nel 1533, in un'edizione curata da Erasmo da Rotterdam (1466–1536). L'edizione più recente è quella di Nobbe del 1843–45. Non è però facile leggere l'opera in una traduzione attendibile.

Discorso a parte merita la *Geographia* ad opera di Strabone, completata intorno al 23 d.C. che ci è giunta quasi integralmente. Per la vastità dei materiali offerti al lettore, per i frequenti *excursus* storici, per la precisione

www.nostronomics.com

dei riferimenti toponomastici, l'opera di Strabone è uno strumento imprescindibile per lo studio di molti aspetti del mondo antico. Si tratta però di un'opera descrittiva estranea alla tradizione della geografia matematica. Per Strabone la geografia è una parte della filosofia e nel confutare i predecessori dimostra di non trovarsi molto a suo agio con l'astronomia e la matematica. La fortuna di quest'opera fu scarsa nell'antichità: Tolomeo la trascura completamente, Plinio, raccoglitore acritico di notizie, non la menziona; solo successivamente comincia ad essere citata. Nel Medioevo e nel Rinascimento il trattato avrà grande considerazione e sarà trasmesso integralmente. Le idee di Strabone ebbero larga diffusione dal tempo del Concilio di Firenze del 1439, che fu un'ottima occasione per lo scambio di notizie cosmografiche. Una traduzione della *Geographia* di Guarino Veronese esisteva dal 1458 e fu pubblicata a stampa nel 1469.

La riscoperta della geografia matematica di Tolomeo rese di nuovo attuale una vecchia idea ellenistica riferita da Strabone: quello di raggiungere le Indie navigando verso occidente (Strabone, *Geographia*, I, i, 12 [17]). Sette anni dopo la pubblicazione della *Geografia* di Tolomeo, Cristoforo Colombo espose il suo progetto al re del Portogallo e otto anni più tardi tentò coraggiosamente l'impresa. Dobbiamo interpretare questa contiguità temporale come una profonda filiazione tra i due eventi. Il viaggio di Colombo e quelli successivi di Magellano ed altri diedero una conferma sperimentale a ipotesi che erano fondate in precedenza sulla teoria e fornirono inoltre alla scienza molte osservazioni impreviste. I progetti di traversata atlantica di Colombo costituiscono un chiaro esempio di quanto uno schema concettuale possa essere fecondo di risultati, mostrano come le teorie siano in grado di guidare uno scienziato nell'ignoto, insegnandogli dove deve guardare e cosa può attendersi di trovare. Tuttavia la guida fornita dai modelli non è sempre chiara e diretta; più che di precise direttive spesso si tratta di suggerimenti per l'opera di organizzazione e ricerca; seguire queste indicazioni teoriche richiede un lavoro di estensione ed estrapolazione. Dal momento che le idee non nascono dal nulla sembra che la storia ci insegni che è preferibile essere guidati da una teoria, anche se sbagliata, che non averne alcuna. Perciò è meglio tentare di raggiungere l'Asia e scoprire un nuovo continente, piuttosto che starsene nel porto di Palos de la Frontera; così come è più utile condurre esperimenti sui processi di ossidazione e combustione guidati dalla teoria errata del *flogisto,* che rimanere seduti in laboratorio del tutto privi di idee. Anche se Colombo era in errore nel credere di poter raggiungere la Cina navigando verso ovest, la sua impresa e i viaggi che la seguirono, diedero una chiara dimostrazione della drammatica inadeguatezza di Tolomeo quale geografo. La rivoluzione geografica imposta dalla scoperta del Nuovo Mondo spianò la strada

www.nostronomics.com

per un riesame critico di Tolomeo astronomo, l'autore dell'*Almagesto*.

A dare avvio a questa rivoluzione fu Cristoforo Colombo (1451–1506) un agente mercantile genovese che concepì il progetto di una traversata atlantica. [42, 43] Ma prima di lui, intorno all'anno 1000, alcuni navigatori scandinavi raggiunsero il suolo del continente americano. Anche Leifr Eiríksson perciò fu uno scopritore dell'America, ma la sua scoperta fu piuttosto prematura e per qualche ragione non condusse ad evidenti ripercussioni in Europa. La scoperta di Colombo invece fu molto più in linea con i tempi.

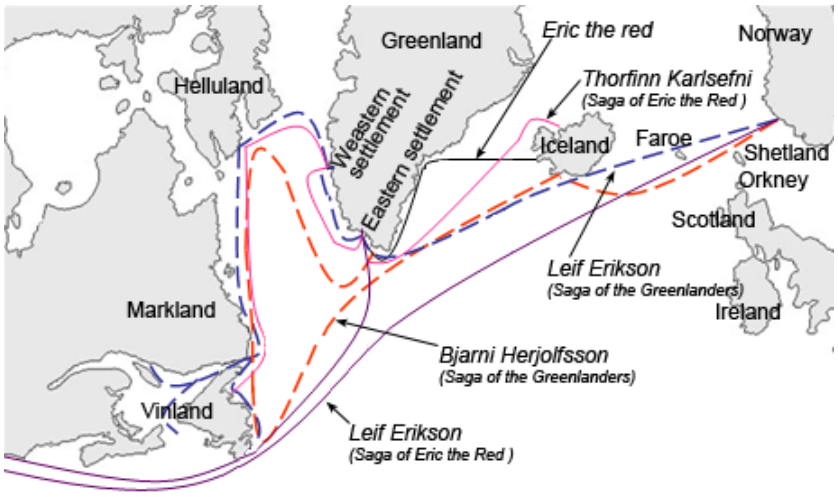

Figura 4.1 | Le rotte seguite da alcuni personaggi delle saghe islandesi in Groenlandia, Vinland (Newfoundland), Helluland (Baffin Island) e Markland (Labrador). (Wikimedia Commons; user Masae)

Le imprese di questi navigatori nordici sono narrate nella *Grœnlendinga saga* o *Saga dei Groenlandesi.* Si tratta di un racconto islandese che insieme alla *Eiríks saga rauða* o *Saga di Erik il Rosso* è una delle due principali fonti letterarie che narrano la colonizzazione della Groenlandia raggiunta da Erik il Rosso e dai suoi seguaci. Descrive poi alcune spedizioni verso occidente condotte dai figli di Erik e da Thorfinn Karlsefni. La saga è conservata nel manoscritto *Flateyjarbók* del tardo XIV secolo, noto anche come *Codex Flatöiensis,* il più esteso manoscritto medioevale islandese. Si pensa che la sua stesura sia stata per la prima volta commissionata nel XIII secolo mentre gli eventi riportati risalirebbero ad un periodo tra il 970 e il 1030. Nonostante alcune parti della saga narrino avvenimenti stravaganti, si ritiene comunque che contenga un minimo di verità storica.

Per indicare queste popolazioni dobbiamo adottare il termine *Norsemen*

www.nostronomics.com

e l'aggettivo *norse* o *norreno*. Norsemen o Northmen ("*uomini del nord*") sono nomi usati per un gruppo di individui parlanti una lingua germanica del nord. Il termine *Norse* si riferisce perciò alla lingua *Old Norse* parlata allora dalle popolazioni danesi, svedesi, norvegesi e islandesi, un linguaggio appartenente al ceppo Germanico Settentrionale delle lingue indoeuropee. Tra VIII e XI secolo questi termini furono impiegati per indicare i popoli della Scandinavia centrale e meridionale. Sarebbe invece fuorviante adottare il termine "normanno". Con esso si intende riferirsi alle popolazioni nordiche che si stabilirono sia in Normandia, in Francia, sia nell'Italia Meridionale dove essi crearono uno stato di dimensioni considerevoli: il Regno normanno di Sicilia, a partire dall'ultimo quarto del IX secolo. Anche il termine *vichingo* sarebbe improprio: esso indica un appartenente a quelle popolazioni costiere dedite alla pirateria, insediate nei fiordi (*vik* significa infatti "baia"). Nell'Europa continentale si denotano come v*ichinghi* solitamente quegli esploratori, commercianti e guerrieri norreni, originari della Scandinavia, che a bordo di navi fecero scorrerie sulle coste delle isole britanniche, della Francia e di altre parti d'Europa fra la fine dell'VIII e l'XI secolo. Gli slavi e i bizantini chiamarono poi queste genti *variaghi* (uomini giurati) perché i soldati della guardia del corpo degli imperatori bizantini erano denotati come *guardia variaga*. Questi popoli nordici non erano esattamente quei barbari descritti dalla cultura popolare; la loro tecnologia era simile a quella di molti piccoli centri nelle aree rurali dell'Europa medioevale.

Diversi documenti storici attestano l'espansione dei norsemen verso occidente. Per esempio il papa Pasquale II (1050–1118) nominò il primo vescovo della Groenlandia e delle regioni più occidentali; nella bolla di nomina del primo vescovo, Erik Gnupsson, si legge infatti "*Groenlandiæ, regionumque finitimarum*". Poi a causa dalla *Little Ice Age*, a partire dall'inizio del XIV secolo, ci fu un abbassamento di temperatura nell'emisfero boreale, la Groenlandia fu abbandonata e così anche gli insediamenti norsemen del Nord America che da lì provenivano, anche se alcuni documenti attestano contatti in epoca successiva. Quel che è certo è che a *Anse aux Meadows*, nella parte più settentrionale dell'isola di Newfoundland (Terranova) in Canada, c'era una presenza norsemen. Anse aux Meadows (una corruzione del francese L'Anse-aux-Méduses, ovverosia La baia delle meduse) è un sito archeologico in cui nel 1960 l'esploratore norvegese Helge Ingstad e la moglie, l'archeologa Anne Stine Ingstad scoprirono i resti di un antico villaggio norse. Si tratta dell'unico accreditato villaggio norsemen del Nordamerica al di fuori della Groenlandia; qui è stata condotta una ricerca archeologica durata molti anni che ha portato alla luce abitazioni, oggetti e utensili compatibili con la civiltà norse. L'insediamento

www.nostronomics.com

risale ad oltre cinque secoli prima dei viaggi di Cristoforo Colombo e in esso si trovano le più antiche costruzioni europee delle Americhe. Inserito nell'elenco dei Patrimoni dell'umanità dell'UNESCO, è da molti ritenuto essere il leggendario *Vinland*, l'insediamento dell'esploratore Leifr Eiríksson intorno all'anno 1000. Benché non sia possibile stabilire con certezza se L'Anse aux Meadows sia veramente il Vinland della saga, è certo che un gruppo di colonizzatori norsemen visse qui tra la fine del X e gli inizi dell'XI secolo, anche se il sito venne utilizzato per soli due o tre anni. [44] Si crede, in base ad evidenze sia archeologiche che letterarie, che l'abbandono sia stato causato dalle pessime relazioni con i nativi americani, indicati dai norsemen come *skrælingar* (plurale di *skræling*). Questo è il nome con cui i groenlandesi norse del medioevo chiamavano i Dorset e la popolazione Thule in Groenlandia. Quando poi i norsemen entrarono in contatto con gli abitanti del Nord America (probabilmente gli antenati dei Beothuk), si riferirono ad essi con lo stesso nome. Secondo La *Saga di Erik il Rosso* e la *Saga dei Groenlandesi* i norsemen cominciarono ad esplorare le terre ad ovest della Groenlandia appena qualche anno dopo il loro insediamento in quella terra. Nel 985 mentre navigavano dall'Islanda alla Groenlandia con una flotta di 400–700 coloni e altre 25 navi, delle quali 14 completarono il viaggio, un mercante di nome Bjarni Herjólfsson fu portato fuori rotta e dopo tre giorni di navigazione vide della terra a ovest della flotta. Bjarni era solamente interessato a trovare la fattoria di suo padre, ma descrisse la sua scoperta a Leifr Eiríksson che esplorò l'area con maggior dettaglio e installò un piccolo insediamento quindici anni più tardi. Le saghe descrivono tre separate aree scoperte durante l'esplorazione: *Helluland*, che significa "terra delle pietre piatte"; *Markland*, "la terra delle foreste" e *Vinland* "la terra del vino", trovate da qualche parte a sud del Markland. Fu nel Vinland che fu installato l'insediamento descritto nelle saghe. Un'altra interpretazione del nome Vinland, piuttosto popolare nel XX secolo, sostiene che il primo elemento non è *vín* (con un suono della vocale piuttosto allungato), ma *vin* (con un suono breve, come la parola inglese *tin*), una parola Old Norse che significa "prato", "pascolo" (Proto-Norse *winju)*. Vin è un nome comune a molte antiche fattorie al tempo dei norsemen in Norvegia e attualmente lo ritroviamo nel toponimo Bjørgvin, il nome Norse e Islandese della citta di Bergen in Norvegia. Markland è il nome forse dato alla costa del Labrador, in Canada dall'esploratore islandese Leifr Eiríksson che fu il primo europeo a raggiungere l'America settentrionale. Il nome Markland che in norreno significa sia "terra delle foreste" sia "terra di confine", era al nord di Vinland e al sud di Helluland. Eiríksson portò alcuni alberi dal Markland in Groenlandia dato che non c'erano alberi a causa del clima molto freddo. Non sono stati mai trovati

www.nostronomics.com

resti di insediamenti norsemen nel Markland e forse non si insediarono mai. [43]

Spedizione antartica

Men wanted for hazardous journey. Small wages. Bitter cold. Long months of complete darkness. Constant danger. Safe return doubtful. Honour and recognition in case of success.

Attribuita a Sir Ernest Henry Shackleton (1874–1922). Si ritiene che sia una inserzione pubblicitaria del 1901 su un quotidiano inglese per la ricerca di volontari per una spedizione antartica. Potrebbe essere apocrifa.

Gift Shop! Nostromics Store – Exploration

Nelle sue reminiscenze del 1495 Colombo dice che nel febbraio 1477, (la data è opinabile in un ricordo tanto remoto), navigò "*per cento leghe più in là dell'Islanda*", essendo partito da Bristol, come si deduce dal contesto. È possibile che Colombo partecipasse ad un viaggio da Bristol all'Islanda. Nella sua affermazione non c'è nulla di inverosimile e la partecipazione ad un viaggio del genere fornirebbe anche la giustificazione per la visita a Galway in Irlanda, da lui menzionata in un'altra annotazione marginale. [42] È possibile che durante quel viaggio nell'Atlantico settentrionale Colombo abbia sentito i racconti degli islandesi sulla Groenlandia e delle terre ancora più occidentali. Forse, ma come vedremo, il legame tra le esplorazioni dei norsemen e Colombo è probabilmente molto meno diretto ed evidente.

La complessa genesi dell'idea di Colombo trae invece le sue origini nelle esperienze marinaresche e nelle letture. Sicuramente agli inizi del XV secolo l'interesse accademico verso il bordo occidentale dell'Asia aumentò sensibilmente e ciò coincise con la diffusione della *Geografia* di Tolomeo che forzò gli studiosi a pensare all'intero globo in termini quantitativi. L'immagine del mondo e in genere le idee geografiche di Colombo presero forma fra gli inizi del suo apprendistato cosmografico da autodidatta, probabilmente negli anni ottanta del XV secolo e il periodo dei suoi scritti sistematici in materia, dal 1498 in poi. Se si escludono le sue teorie geodetiche del tutto errate, Colombo ebbe un rapporto del tutto marginale con l'astronomia. [45] Egli viene talvolta ritratto con stelle e primitivi strumenti di navigazione astronomica, ma le poche testimonianze che esistono circa l'uso che Colombo faceva delle stelle per navigare fanno ritenere che

www.nostronomics.com

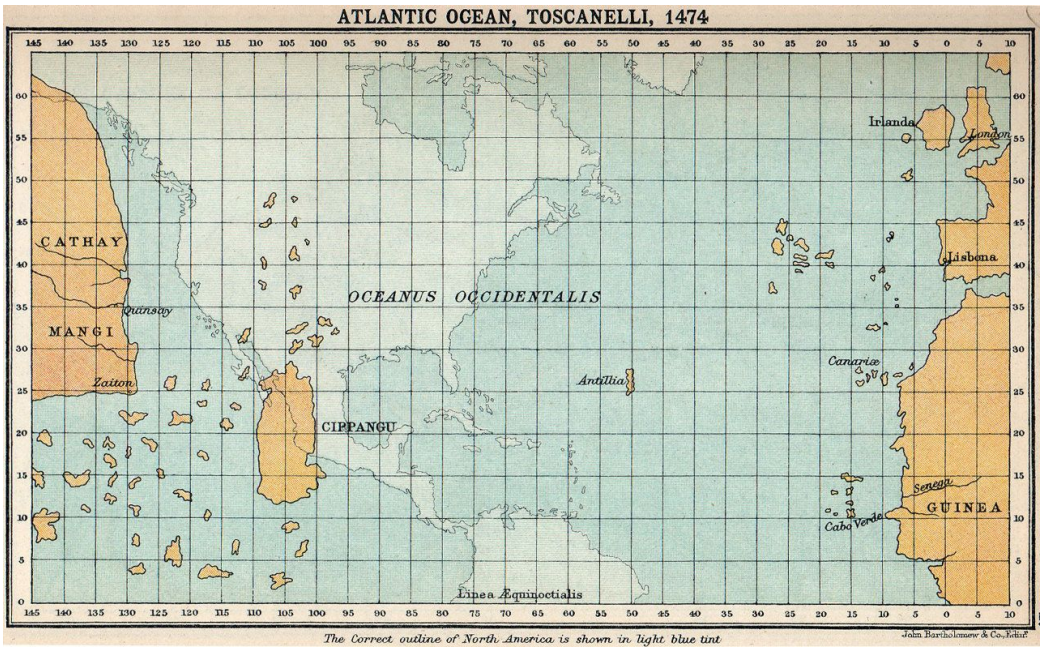

Figura 4.2 | La mappa dell'Oceano Atlantico di Paolo dal Pozzo Toscanelli del 1474. È molto probabile che fosse nota a Colombo. Il Cathay è la Cina, l'isola di Cippangu il Giappone e Antillia (*anti ilha*, cioè *isola opposta* [al Portogallo?]) è una mitica isola della tradizione portoghese che secondo alcuni studi potrebbe essere in realtà l'isola di Formosa ovvero Taiwan, conosciuta in Occidente tramite contatti veneziani. (Wikimedia Commons; user Alex:D)

avrebbe potuto ottenere gli stessi risultati semplicemente tirando ad indovinare. Disorientato dai cieli tropicali e dall'assenza di stelle circumpolari a lui ben note, scambiò due volte *Beta Cephei* con la stella Polare, ottenendo una latitudine di 21 gradi più a nord di quella reale. Colombo era esperto di navigazione piana, non astronomica. L'unica occasione degna di nota, anche se avvolta dalla leggenda, in cui Cristoforo Colombo dimostrò di maneggiare abilmente dei concetti astronomici fu quando utilizzò le *Effemeridi* di Johannes Müller (Regiomontano) per prevedere un'eclissi lunare imminente. Durante il quarto viaggio Colombo rimase bloccato in Giamaica con le navi danneggiate. Da Hispaniola gli aiuti tardavano ad arrivare e i mesi passavano. Gli indigeni ormai stanche delle collanine di vetro e di altra paccottiglia di scambio, si rifiutarono di fornire cibo all'equipaggio di Colombo. Secondo la leggenda Colombo apprese dalle *Effemeridi* che ci sarebbe stata un'eclissi di Luna la notte del 29 febbraio 1504 e si affrettò ad informare gli indios che sarebbe sorta una luna nera e sanguinante, segno della collera divina verso il loro comportamento ostile. Il navigatore

www.nostronomics.com

non si fece vedere finché l'eclissi non fu terminata e poi uscì dalla cabina annunciando che Dio aveva ascoltato le preghiere che egli aveva rivolto a favore degli indios. L'evento impressionò talmente gli indigeni che essi rifornirono Colombo di molto più cibo di quello necessario per sopravvivere. A di là della realtà dell'episodio esso è comunque significativo della considerazione che le tavole planetarie avevano all'epoca. [46]

È difficile conoscere i puri e semplici dati di fatto riguardanti Colombo perché per cinque secoli la storiografia colombiana si è fidata di fonti non irreprensibili e non verificate; si constata ad esempio una influenza fuorviante degli autori cinquecenteschi, usati talvolta dagli studiosi con troppa leggerezza come fonti primarie. Occorre poi evitare di aderire alla leggenda creata dall'esploratore stesso. L'immagine tramandata dalla tradizione storica di una persona eccezionalmente decisa è falsa e non ha nessun fondamento nei documenti. Il suo senso della "missione divina" crebbe gradualmente in Colombo; le sue idee geografiche presero forma lentamente e furono assai mutevoli agli inizi. L'opinione contraria secondo la quale egli sostenne le sue idee con costanza incrollabile, indifferente alle derisioni e con una risolutezza inflessibile, risale ad una ricostruzione a posteriori autopromozionale da parte dello stesso Colombo nell'ultima parte della sua vita. [43] In realtà lo studio dei documenti direttamente riferibili a Cristoforo Colombo mostra come il navigatore genovese prendesse in considerazione durante il processo di maturazione delle sue idee tre possibili obiettivi:

- una ricerca di nuove isole occidentali;
- una scorciatoia per l'Asia;
- la ricerca degli Antipodi.

Se rigettiamo la tradizione semi-agiografica secondo cui le sue idee sarebbero state pienamente formate al momento della prima traversata atlantica, e anche l'opinione di segno opposto dei detrattori, per i quali Colombo, una sorta di *useful idiot,* avrebbe ricevuto la sua concezione geografica già pronta da qualche ignoto suggeritore, possiamo affermare che il processo della sua formazione intellettuale fu lungo e complesso. Questo percorso si protrasse per tutta la sua carriera di navigatore transatlantico e nutrito tanto di esperienze e osservazioni quanto di letture. Le sue idee geografiche ebbero quindi un'evoluzione continua e a volte subirono drastiche revisioni. Per almeno una parte del periodo 1480–90, il decennio decisivo per la sua formazione intellettuale, Colombo abbandonò il suo lavoro di navigatore mercantile per fare il libraio e il cartografo. Con questa nuova attività professionale ebbe quindi accesso privilegiato

www.nostronomics.com

ai libri. Le postille scarabocchiate in margine al manipolo di libri superstiti dei due fratelli Colombo, Cristoforo e Bartolomeo, con grafie difficili, quasi indistinguibili, sono la sola testimonianza di prima mano in nostro possesso sulla formazione intellettuale di Colombo. La difficoltà di datare libri che possono essere stati letti e riletti molte volte nel corso di un lungo periodo crea il rischio di attribuire ad una prima fase della vita di Colombo idee ed interessi maturati molto più tardi. Che influenzarono o meno sulla formazione del suo progetto, le letture contribuirono senza dubbio alla presentazione di questo presso le autorità, e Colombo espose le sue idee ai sovrani spagnoli con l'ausilio di mappe e libri. Sarebbe plausibile sostenere che egli ricorreva all'autorità dei testi per trovarvi conferme o commenti alle idee suggerite dall'esperienza quanto affermare che le sue imprese atlantiche furono un'applicazione di teorie accademiche. Probabilmente in Colombo coesistevano entrambe le prospettive. Di sicuro sentiva come interdipendenti la pratica marinaresca e il sapere cosmografico. [43]

A Lisbona Colombo cominciò a documentarsi ed a leggere testi geografici, come la *Historia rerum ubique gestarum* di papa Pio II (Enea Silvio Piccolomini), stampata nel 1477, l'*Imago mundi* di Pierre d'Ailly (1480) e *Il Milione* di Marco Polo. Una notevole influenza sulla decisione poi presa da Colombo dovette esercitare una lettera che nel 1474 Paolo dal Pozzo Toscanelli (1397–1482) indirizzò ad un canonico di Lisbona, Fernão Martins de Reriz. [42] Nella missiva, che è quasi certo che Colombo conoscesse, lo studioso fiorentino riteneva percorribile una rotta verso ovest per raggiungere l'India. Abbiamo copie della corrispondenza con Toscanelli per mano di Colombo, cucite nel risguardo di un suo libro: non si può quindi ragionevolmente dubitare che egli fosse a conoscenza di queste opinioni. È probabile che le ricevette prima del 1492. Comunque esse indicano per lo meno il tipo di progetti che erano nell'aria prima della partenza di Colombo, e la diversità di opinioni circa la natura dello spazio atlantico. Toscanelli stimava intorno a 5.000 miglia nautiche la distanza delle Canarie dal Catai, che era molto rispetto alle comuni valutazioni del tempo; ma il viaggio, a suo avviso, poteva far tappa ad "Antillia", la mitica isola della tradizione portoghese, oppure in Giappone, che sull'autorità di Marco Polo, era ritenuto trovarsi a grande distanza dalla Cina. La raffigurazione dell'Atlantico di Toscanelli, o una versione molto simile, fu resa propria ben presto dai cosmografi di Norimberga: la troviamo, con piccole modifiche in un mappamondo fatto in quella città da Martin Behaim nel 1492.

È sconcertante che Colombo non abbia mai citato Toscanelli fra le sue autorità, tuttavia soltanto a partire dal 1498 Colombo prese l'abitudine di

www.nostronomics.com

citare le sue fonti. A quella data egli aveva nel cassetto una quantità di fonti più rispettabili, classiche, bibliche, patristiche e apocrife, ma saremmo legittimati a sospettare che certe omissioni rispondessero ad una linea di condotta, finalizzata ad evitare di scoprire troppo le carte, per assicurarsi un vantaggio su eventuali concorrenti. Anche l'Atlantico di Toscanelli era all'atto pratico troppo largo per una traversata. Colombo tuttavia si propose di ridurlo argomentando che "*questo mondo è piccolo*". Nei suoi scritti superstiti Colombo si preoccupa specificatamente delle dimensioni del globo solo molto tardi; la prima trattazione del problema è dell'agosto 1498. Ma, in base agli indizi è lecito supporre che condividesse e accentuasse la tendenza contemporanea alla sottovalutazione. I materiali su cui si fondavano i suoi calcoli erano tratti quasi per intero dall'Imago mundi di Pierre d'Ailly che probabilmente Colombo aveva già letto nel 1488, anno della prima postilla databile con sicurezza, fatta da lui o dal fratello su quel testo. Quando giunse a esporre dettagliatamente le sue opinioni, Colombo abbracciò una sottostima minore di ogni altra: inferiore del 25% alla cifra reale, e almeno dell'8% alla stima più avventurosa fatta, per quanto si sa, ai suoi tempi. Mentre Eratostene aveva determinato, con buona approssimazione in 700 stadi la lunghezza di un grado di meridiano, la stessa misura era stata accettata un secolo dopo da Ipparco, mentre Marino e Tolomeo adottarono un valore di 500 stadi. [9] Sembra che la differenza fra le due misure non sia dovuta all'uso di *stadi* di lunghezza diversa, ma che Tolomeo attribuisse effettivamente una diversa lunghezza al meridiano. Fu questo errore a portare Colombo, le cui conoscenze geografiche erano basate sulla *Geografia* di Tolomeo, a sottovalutare notevolmente le dimensioni della Terra. La base dichiarata di questo calcolo era evidentemente erronea: in una postilla non datata alla sua copia del libro di Pierre d'Ailly, Colombo dice che i confronti da lui fatti delle latitudini osservate e delle distanze registrate durante un viaggio nel Golfo di Guinea lo avevano convinto che il perimetro delle terre all'equatore fosse di 20.400 miglia e, secondo Colombo, questa era l'opinione di al-Farghani. [45] L'opinione di "Alfragano" però era espressa in miglia molto più lunghe di quelle degli autori greci. Colombo, che aveva l'informazione di seconda mano da Pierre d'Ailly, non si curò di uniformare le sue unità di misura. E se anche le sue cifre fossero state giuste, non sarebbe stato possibile verificarle nel modo da lui descritto, cioè impiegando "*un quadrante e altri strumenti*". Nel XV secolo questo metodo non consentiva di determinare la latitudine in mare con precisione, il calcolo era poi alquanto grossolano e in ogni caso Colombo non poteva minimamente essere certo che la sua rotta per la Guinea potesse aver seguito un circolo massimo della Terra. I geodeti islamici avevano rielaborato i calcoli di Eratostene: al-Farghani,

www.nostronomics.com

nel IX secolo, ottenne l'equivalente di 20.400 miglia arabe pari a 40.253 km. Colombo ipotizzò erroneamente che le miglia arabe fossero equivalenti a quelle romane, il che lo portò a calcolare una circonferenza di 30.044 km, appena tre quarti del valore effettivo. Inoltre Colombo fece una stima notevolmente esagerata dell'estensione longitudinale dell'Asia e quindi della sua distanza dall'Europa. Egli calcolò che il Giappone si trovasse addirittura a 283 gradi di distanza in direzione est, e a meno di 5.000 km dalle Canarie in direzione ovest. Questi due errori fecero apparire ragionevole il suo obiettivo di raggiungere le Indie andando verso occidente.

Tuttavia rimane difficilmente spiegabile come gli studiosi spagnoli chiamati a giudicare il progetto di Colombo abbiano potuto esprimersi favorevolmente sulla base delle loro conoscenze. Era pur sempre possibile che la stima di al-Farghani fosse corretta e che l'Asia si trovasse ad una distanza irraggiungibile. Verosimilmente la caduta di Costantinopoli, avvenuta pochi decenni prima, nel 1453, costituiva una potente motivazione geopolitica per tentare nuove rotte verso l'oriente anche se le probabilità di successo potevano apparire scarse. Come pure dovevano esistere degli argomenti non del tutto espliciti, un *milieu* culturale, che induceva i dotti ad una certa fiducia circa la prossimità all'Europa delle coste orientali dell'Asia. [47] Ed è precisamente quando non sono disponibili tutte le informazioni che sarebbero necessarie per prendere una decisione razionale che entrano in gioco elementi estranei. In altri termini la logica più rigorosa è lo strumento più efficace per prendere decisioni, ma se ci si ritrova in situazioni di incertezza con dati insufficienti, occorre "completare" l'informazione mancante con ragionamenti *euristici*. Le complesse e travagliate circostanze che portarono al riconoscimento dell'esistenza di una massa continentale estranea a quella dell'Eurasia, sono un esempio di applicazione di un tipo di metodo scientifico empirico che tramite errori e prove riesce comunque ad autocorreggersi.

L'idea di navigare verso occidente per raggiungere l'Asia non era solamente di Colombo. Gli storici conoscono diversi suoi contemporanei e predecessori che svilupparono la stessa idea e alcuni tra loro ricercarono attivamente un supporto finanziario per il viaggio. Anche senza Colombo l'America molto probabilmente sarebbe stata scoperta entro pochi anni. Il progetto era *nell'aria*. Infatti non più di tre anni dopo il tentativo di Cristoforo Colombo di ottenere appoggio presso la corte portoghese, un avventuriero fiammingo, Ferdinand van Olm ottenne dal Portogallo un mandato per un progetto molto simile, inteso a trovare isole e terre nell'Atlantico. A giudicare dalla frequenza con cui questi documenti compaiono negli archivi portoghesi, ottenere mandati di esplorazione era facile; per gli anni tra il 1462 e il 1487 se ne conservano otto. Pare dunque che ci fosse

www.nostronomics.com

qualcosa di più forte dell'erronea opinione delle antiche autorità, qualcosa in grado di indurre questi candidati esploratori ad investire anni nelle corti reali e a rischiare le loro vite in mare difendendo un argomento circa la distanza dell'Asia sul quale i teorici contemporanei rimanevano scettici. Molti studiosi che si sono concentrati sulle motivazioni di Colombo hanno completamente trascurato le motivazioni degli altri che sostennero progetti simili. [47] Erano tutti matti? Perché nel XV secolo si diffuse la tendenza alla sottovalutazione delle dimensioni dell'Atlantico? Da dove nasce questa *teoria dell'Atlantico stretto*? Prima di rispondere a questa intrigante domanda circa la percezione rinascimentale della distanza delle terre occidentali, volgiamo il nostro sguardo dalla parte opposta: verso l'Oriente e alle sue ricchezze.

I secoli tra il XII e il XV sono l'epoca in cui la *rivoluzione commerciale*, che avrebbe trasformato l'Europa quasi quanto accadrà poi con la rivoluzione industriale del XIX secolo, era al suo momento culminante. Si comperava di tutto. Si vendeva di tutto. C'era un enorme interesse per i prodotti del Vicino Oriente. [48] Dal tempo delle crociate, le ricche vesti dei musulmani avevano affascinato i rozzi signori feudali, e si vedevano arrivare tutti i tessuti dei quali conserviamo ancor oggi i nomi arabi, turchi o persiani: il raso o *satin* (dalla dizione araba di Zaitun, oggi Quanzhou nella provincia

Metodi euristici

I metodi euristici o *euristica* sono una tecnica basata sull'esperienza impiegata nel problem-solving, nell'apprendimento e nella scoperta. Il termine deriva dal greco *heuriskein* "trovare". Le "euristiche" sono metodi ad occhio e croce, cioè basati su criteri soggettivi ed empirici, quali congetture, giudizi intuitivi o semplicemente senso comune. Più precisamente con euristica si intendono le strategie che impiegano alcune informazioni o criteri generali, rapidamente accessibili ed applicabili in problemi riguardanti sia esseri umani sia macchine. Un esempio di euristica è il seguente. Provate a rispondere al quesito: è più probabile che il numero di telefono 110 appartenga al signor Mario Rossi o ad un servizio di emergenza? La risposta è semplice: è assai più verosimile che al numero 110 corrisponda un servizio pubblico. Ma sapreste giustificare su cosa basate la vostra convinzione? Anche se non ve ne rendete conto state adottando l'euristica secondo la quale i numeri di emergenza devono essere facilmente memorizzabili e rapidi da comporre e quindi sono di poche cifre, mentre le utenze private hanno numeri molto più lunghi e casuali. È l'esperienza che ce lo ha insegnato, nessuno mai ce lo ha detto esplicitamente. Il metodo euristico qui adottato ha quindi un fondamento esperienziale, che pur non essendo basato su una dimostrazione logica e rigorosa, nemmeno può essere ragionevolmente messo in discussione. ▷

www.nostronomics.com

Talvolta l'euristica degenera in una applicazione troppo disinvolta del *principio di induzione*: il fatto che nella mia esperienza io abbia *sempre* visto le giraffe in uno zoo perché abito in una città europea, non mi autorizza a concludere che *tutte* le giraffe si trovino negli zoo. Un'importante euristica è il Rasoio di Occam, mentre l'euristica più fondamentale è "prova e correggi" che si applica sia quando si aggiusta la catena della bicicletta sia per trovare i valori delle variabili nei problemi di algebra.
Il matematico ungherese George Pólya (György Pólya, 1887–1985), ha studiato i metodi euristici come strumento per la scoperta in campo matematico; ecco alcune delle euristiche considerate nel suo classico libro "How to Solve It", del 1945:

- Se non puoi scoprire la soluzione prova ad immaginare di averla già trovata e vedi ciò che puoi ricavarne (*working backward*).
- Se il tuo problema è astratto prova ad esaminare un caso concreto.
- Prova a risolvere prima un problema più generale. (È il *paradosso dell'inventore*, un piano più ambizioso potrebbe avere maggiori probabilità di successo).
- Se non puoi risolvere il tuo problema, tenta prima di risolvere qualche problema ad esso correlato. Riesci a immaginare un problema correlato più accessibile?

Gift Shop! Nostromics Store – Math

cinese di Fujian), la *mussola* (il suo nome deriva dalla città di Mossul sulle rive del Tigri dove gli europei la incontrarono per la prima volta, ma ha la sua origine nella città di Dacca in Bangladesh), il *taffetà* (dal persiano *taftah*, participio passato del verbo *tàftan*, torcere, intrecciare, tessere). I registri e le carte di commercio veneziani o genovesi sono un'utile fonte di informazioni sull'organizzazione materiale degli affari e ci fanno intuire l'esistenza di una vasta rete di interessi, di attività, di trasporti. Sfortunatamente le informazioni sui personaggi riguardano solo litigi, testamenti o processi. Non ci si può aspettare molto da nomi colti qua e là quasi per caso. In compenso la struttura delle associazioni commerciali, chiamate *colleganze* a Venezia e *commende* in altre città, rivela la relativa ampiezza degli affari internazionali. Questa attività dei mercanti è largamente confermata dai frati minori e predicatori, i quali spesso parlavano di coloro che incontravano. Nel 1305, il francescano Giovanni da Montecorvino (1246–1328) affidò una sua lettera a un negoziante veneziano; conversò con un altro veneziano a Tabriz in Persia, con un toscano e alcuni genovesi a Thana in India. Nel 1307 papa Clemente V, inviò sette frati francescani con l'inca-

www.nostronomics.com

rico di consacrarlo arcivescovo di Beijing. Altre testimonianze di viaggiatori europei le abbiamo dall'archeologia: c'è il caso di una certa Katerina Vilioni (?–1342) una donna di origini italiane morta in Cina nella prima metà del XIV secolo che conosciamo solo grazie al ritrovamento della sua lapide tombale, rinvenuta nel 1957 nei pressi della città cinese di Yangzhou. Il Frate Minore Odorico da Pordenone (1265–1331), visitò nel 1322 Yangzhou riferendo che alloggiò presso una comunità francescana, e che in città vi erano anche tre chiese nestoriane; la sua relazione del viaggio è conservata presso la *Biblioteca Riccardiana* a Firenze.

Francesco Balducci Pegolotti (c. 1310–1347) fu un mercante fiorentino al servizio della Compagnia dei Bardi, e in questo ruolo si recò ad Antwerp dal 1315 al 1317. Fu direttore dell'ufficio di Londra dal 1317 al 1321 e trattò personalmente con il re Edward II. Tra il 1335 e il 1343 completò il lavoro per il quale è famoso: il *Libro di divisamenti di paesi e di misuri di mercatanzie e daltre cose bisognevoli di sapere a mercatanti*, comunemente noto come *Pratica della mercatura*. In esso compilò un glossario di termini italiani e stranieri dell'epoca usati nel commercio; la *Pratica* descrive poi le città note ai mercanti italiani, l'importazione e l'esportazione dalle varie regioni, le tradizioni commerciali delle diverse zone e una comparazione tra i valori di monete, pesi e misure. Il percorso più lungo che Balducci Pegolotti descrive è quello da Azov via Astrakhan, Khiva, Otrar e Kulja fino a Beijing. Egli mise per iscritto in un grosso *infolio* gli itinerari particolareggiati che si comunicavano tra loro i mercanti. Si è informato, dice, presso i mercanti che avevano compiuto il viaggio in Estremo Oriente, e secondo lui il viaggio in Cina era una cosa abbastanza normale. Le sue informazioni provengono soprattutto dai genovesi, visto che usa le unità di misura genovesi per indicare i carichi e per comparare i pesi e le monete. Non ci è rimasto il manoscritto autografo; quello sopravvissuto, conservato alla Biblioteca Riccardiana di Firenze, fu completato il 19 marzo 1472 da Filippo di Niccolaio Frescobaldi. Balducci Pegolotti pubblicò tra l'altro le prime tavole numeriche per il calcolo dell'interesse composto.

Una figura significativa per la storia della cosmografia è Niccolò Da Conti (o Nicolò de' Conti, 1395–1469) un esploratore e mercante veneziano che viaggiò in India e nel Sud-est asiatico all'inizio del XV secolo. [48] Da Conti partì da Venezia nel 1419 circa e si stabilì a Damasco dove studiò l'Arabo. Nel corso di 25 anni, viaggiò sotto le spoglie di un mercante musulmano in numerose aree dell'Asia, facilitato in questo dalla sua familiarità con le lingue e le culture del mondo islamico che gli permise anche di imbarcarsi su navi di mercanti islamici. Da Conti attraversò per la prima volta il deserto per raggiungere Baghdad, da cui salpò discendendo il Tigri fino a Bassora. Navigò quindi attraverso il Golfo Persico e si recò in

www.nostronomics.com

Iran dove apprese il persiano. All'incirca nel 1421 giunse a "Pedir", nella parte settentrionale di Sumatra, dove rimase per un anno, acquisendo conoscenza del luogo, soprattutto per quanto riguarda il commercio di oro e spezie. Da qui continuò il viaggio e dopo 16 giorni di navigazione giunse a Tenasserim sulla penisola malese. Salpò quindi verso la foce del Gange, visitando Bardhaman in Bangladesh, e quindi proseguendo via terra fino ad Arakan, nell'attuale Myanmar. Dopo aver attraversato la Birmania, partì per Giava, dove passò nove mesi, prima di recarsi a Champa nell'odierno Vietnam. Viaggiò assieme alla sua famiglia e fece ritorno a Venezia nel 1444. Nel corso dei suoi viaggi, Da Conti abbandonò il cristianesimo per convertirsi all'Islam, e al suo ritorno gli venne richiesto come penitenza, da Papa Eugenio IV (1431–1447), di relazionare i suoi viaggi al segretario papale Gian Francesco Poggio Bracciolini (1380–1459). Le registrazioni fatte da Poggio nel 1439, dei resoconti di Niccolò Da Conti, costituiscono una delle migliori descrizioni dell'oriente da parte di un viaggiatore del XV secolo. Esse vennero incluse nel libro IV del suo *De Varietate Fortunæ*. Poggio Bracciolini ebbe il notevole merito di incentivare la grafia *minuscola carolina* che era caduta in disuso sostituita dalla meno chiara scrittura gotica. Fu una mossa decisiva nel secolo in cui sarebbe nata la stampa: infatti a fine secolo i "piombi", cioè caratteri tipografici furono fatti in minuscola e non in gotico da cui derivano anche i nostri odierni caratteri a stampa. Perciò quando noi oggi leggiamo il carattere corsivo stiamo sostanzialmente leggendo la scrittura a mano di Poggio Bracciolini, *proprio come state facendo ora*.

Si ritiene che i racconti dei viaggi di Niccolò Da Conti, che circolarono inizialmente in forma manoscritta, abbiano profondamente influenzato la comprensione geografica delle aree attorno all'Oceano Indiano nella metà del XV secolo. Il suo fu uno dei primi resoconti a descrivere le Isole della Sonda e le Isole delle Spezie, e contribuì a rivalutare l'opera di Marco Polo, alla quale prima di allora si dava poco credito. I suoi racconti probabilmente incoraggiarono i viaggi di esplorazione europei della fine del secolo. Da Conti influenzò anche la cartografia del XV secolo, come si può notare nella *Mappa Genovese* (1447–1457), e nel lavoro del cartografo Fra Mauro, un monaco e cartografo italiano, il cui importante mappamondo del 1457 offriva una delle rappresentazioni più chiare delle terre allora note. Si ritiene fosse proprio Niccolò Da Conti la "*fonte degna di fiducia*" che Fra Mauro cita nella scrittura della sua mappa, circa i viaggi di una "giunca dell'India", oltre il Capo di Buona Speranza e nell'Oceano Atlantico, attorno al 1420, confermando che era possibile circumnavigare l'Africa. Il libro di Da Conti venne usato da diversi esploratori e viaggiatori, come Ludovico di Varthema, e Antonio Pigafetta, che navigarono attorno al mondo

www.nostronomics.com

Figura 4.3 | La Mappa Genovese (1457) di autore ignoto, contiene le informazioni di Niccolò Da Conti che a lungo viaggiò in Asia. Si notino le buone proporzioni tra i diversi continenti. Sorprende la frequenza dei viaggi verso l'Estremo Oriente: nel XIV secolo nella città cinese di Yangzhou era presente una comunità di italiani. Mentre i commerci con l'oriente migliorarono molto la qualità delle carte geografiche di quelle terre, le conoscenze della parte settentrionale del mondo noto erano invece scarse. (Wikimedia Commons; user PHGCOM)

con la spedizione di Ferdinando Magellano. È stato suggerito che l'uomo "*dal Catai*" che visitò papa Eugenio IV come descritto da Paolo Toscanelli nella lettera del 1474 a Cristoforo Colombo potrebbe essere stato Niccolò Da Conti di cui si sa che ebbe incontri con il pontefice. La sorprendente frequenza dei viaggi verso l'Estremo Oriente, soprattutto da parte di mercanti italiani, mostra come l'impresa di Marco Polo non sia stata affatto isolata ma anzi, sia solo un episodio, nemmeno documentato in maniera affidabile, in un contesto di ampie e stabili relazioni commerciali tra l'Europa e l'Asia nei secoli XIII–XV. Le conseguenze sulla cartografia delle regioni est del continente euroasiatico furono notevoli e migliorarono molto la qualità delle carte geografiche. Al contrario le conoscenze della parte settentrionale del mondo noto erano invece scarse.

La descrizione cartografica della Scandinavia, sviluppata nell'Europa meridionale ha una storia molto curiosa, che ci porterà lontano. [47] La Scandinavia non aveva una tradizione nativa di realizzazione di mappe e per molti secoli le mappe europee la rappresentarono in maniera piuttosto elementare. Durante i secoli XIV e XV apparvero improvvisamente del-

www.nostronomics.com

le forme molte bizzarre nell'angolo nordoccidentale delle carte europee. Sebbene il loro scarso realismo avesse molta variabilità, non mostrarono alcuna evoluzione verso una maggiore riconoscibilità durante questi due secoli. Nel frattempo altre parti delle mappe del mondo ebbero un progresso verso una migliore aderenza alla realtà. Questa circostanza atipica che riguardava la Scandinavia terminò improvvisamente agli inizi del XVI secolo con la comparsa di noti cartografi scandinavi.

La cartografia di queste regioni è stata studiata a fondo da James Robert Enterline, autore di *Erikson, Eskimos & Columbus: Medieval European Knowledge of America*. [47] Enterline sostiene che la spiegazione razionale di questa insolita situazione è da ricercare nella divulgazione di informazioni di provenienza eskimo. Gli eskimo avevano iniziato la loro migrazione in Alaska e giunti in Groenlandia descrivono se stessi come provenienti dal bordo occidentale del continente. Gli europei che ascoltarono i loro racconti li interpretarono come testimonianza di una loro provenienza dalla Lapponia, nella Scandinavia settentrionale. A causa del presupposto che vi fosse un'unica terra emersa, gli studiosi europei pensarono che gli eskimo avessero viaggiato verso est nell'Asia settentrionale. Il ragionamento degli europei era che i norsemen navigando verso ovest raggiunsero la Groenlandia e là incontrarono i presunti lapponi. Perciò il cartografo scandinavo Claudius Clavus (1388–?) pensava che gli eskimo fossero kareliani provenienti dal Mar Bianco. Claudius Clavus Suartho noto anche come Nicholas Niger, in danese Claudius Claussøn Swart (da non confondere con Christopher Clavius gesuita e matematico del XVI secolo), fu un geografo danese considerato il primo cartografo scandinavo. Nel 1412–13 all'età di 25 anni cominciò a viaggiare in Europa e undici anni dopo lo ritroviamo a Roma. Si ritiene che abbia viaggiato fino ad una latitudine nord di 70°10′. A Roma divenne amico del cardinale Giordano Orsini e del segretario del papa Gian Francesco Poggio Bracciolini che era tra coloro che lavoravano, come abbiamo visto, per aggiornare la vecchia cartografia. Clavus contribuì ad una più realistica descrizione dei paesi Nordici, in particolare l'Islanda e la Groenlandia, e fu probabilmente il primo cartografo a collocare la Groenlandia su una mappa. Sfortunatamente la maggior parte del suo lavoro, incluse due mappe, è andato perduto, ma una copia si è conservata attraverso i cartografi tedeschi Donnus Nicholas Germanus e Henricus Martellus Germanus che avevano accesso alle sue note originali. Secondo la loro testimonianza Clavus avrebbe visitato la Groenlandia nel 1420, dunque in epoca successiva all'ultimo contatto noto di una nave con quella terra avvenuto nel 1408. Due manoscritti matematici contenenti la seconda carta della mappa della Groenlandia realizzata da Claudius Clavus durante il suo viaggio in Groenlandia, vennero rinvenuti nel tardo

www.nostronomics.com

XIX secolo dagli studiosi danesi Björnbo e Petersen.

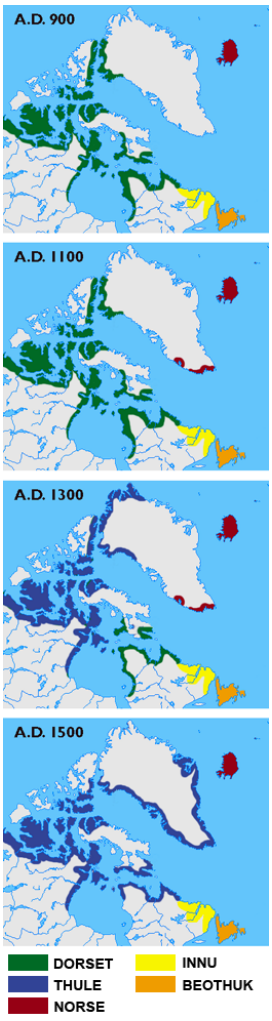

Figura 4.4 | Le culture artiche nei secoli X–XVI. La mappa mostra le differenti civiltà che vissero in Groenlandia, Labrador, Newfoundland e nelle isole artiche del Canada. (Wikimedia Commons; Masae)

Le popolazioni che i norsemen incontrarono in Groenlandia erano i Thule o *Proto-Inuit*, i progenitori di tutti i moderni Inuit, arrivati in Alaska intorno all'anno 500 d.C. e a Nunavut in Canada nel 1000 d.C.; in seguito, verso il XIII secolo, un gruppo giunse in Groenlandia. Il nome "Thule" deriva dalla città di Thule nella Groenlandia nordoccidentale (l'attuale Qaanaaq) dove furono trovati per la prima volta i resti archeologici di questa civiltà. I collegamenti tra Thule e gli Inuit sono biologici, culturali e linguistici. La storiografia del XIX secolo riteneva che i rapporti tra i norsemen e gli eskimo appena giunti in Groenlandia fossero ostili, e che ci fossero stati pochi contatti tra loro. Questa idea continuò nel corso del XX secolo, ma successivamente diversi storici respinsero la nozione di rapporti fondamentalmente ostili e conclusero che sebbene relazioni ostili certamente ebbero luogo, tuttavia il clima generale era neutrale e talvolta positivo. Nel XIII secolo gli eskimo, incontrati dai norsemen, erano quindi impegnati nel culmine di una migrazione attraverso l'Artico, dall'Alaska alla Groenladia. Questi eskimo, membri della cultura Thule, potrebbero aver mostrato ai norsemen come vivere negli inverni artici e dove trovare terreni di caccia. A loro volta i norsemen potrebbero aver trasferito ai Thule molte tecnologie che questi incorporarono nella loro vita quotidiana. Le due popolazioni quindi poterono coesistere per diverse generazioni nel sud della Groenlandia e si trovano tracce di parole di origine norrena nel dialetto eskimo.

È possibile che i Thule eskimo abbiano occasionalmente condiviso con i norsemen le loro conoscenze geografiche sull'America acquisite durante la loro recente migrazione. Queste nozioni includevano alcune tecniche di disegno di primitive mappe, che sorprendentemente, non facevano parte della cultura dei norsemen. La capacità di disegnare semplici mappe è patrimonio comune di molte culture nomadi perché queste conoscenze sono di aiuto alla sopravvivenza. I Thule me-

www.nostronomics.com

dioevali erano primariamente un popolo costiero che viveva con la caccia di mammiferi ed erano ben consapevoli di ogni insenatura della costa. La difficoltà di ricreare una mappa correttamente in scala sorge perché molta dell'informazione era memorizzata in un itinerario lineare. È noto che gli eskimo della Groenlandia realizzarono mappe intagliate nel legno e rappresentate in maniera lineare. Non è invece supportato da prove l'ipotesi che gli eskimo abbiano appreso a fare mappe dai contatti con europei in epoca post-colombiana. Molte delle mappe medioevali con rappresentazioni incongrue della Scandinavia contengono informazioni che provengono più probabilmente dagli eskimo che da fonti norsemen. [47] Infatti molte potrebbero essere il risultato di contatti diretti di cartografi europei con eskimo giunti in Europa direttamente intervistati, circostanza particolarmente vera per alcune delle prime mappe che somigliano all'area dell'Alaska da dove proveniva la cultura di Thule. I residenti nelle colonie norrene in Groenlandia trasmisero delle informazioni all'Europa sotto forma di mappe, descrizioni di viaggiatori e di nativi, durante il secolo che precedette Colombo. Ciò potrebbe spiegare la tempestività dello sviluppo delle idee degli europei meridionali circa la vicinanza dell'Asia all'occidente, e quindi la diffusione della *teoria dell'Atlantico stretto*. Mentre i contatti dell'XI secolo in Vinland di Leifr Eiríksson ebbero come esito l'abbandono di quelle terre, quelli dei Groenlandesi con gli eskimo nel primo Rinascimento potrebbero aver condotto in Europa alla rivoluzione geografica. L'Europa perse gradualmente contatto con i norsemen della Groenlandia a causa del progressivo raffreddamento del clima e non vi è più alcuna registrazione ufficiale di comunicazione dopo gli inizi del XV secolo. Tuttavia ci sono molti indizi secondo i quali i norsemen continuarono a vivere là e che gli europei compirono dei viaggi in Groenlandia per un altro secolo. Sono stati rinvenuti abiti di stile europeo in sepolture groenlandesi della fine del XV secolo. Potrebbero essere giunte in Europa alcune vaghe informazioni circa alcuni territori ad occidente attraverso vari canali non ufficiali e non registrati, sia prima, sia dopo il 1400. Cosa accadde di queste informazioni una volta giunte in Europa? Parte del lavoro dei cartografi, almeno nel tardo medioevo, consisteva nell'incorporare nuovi dati quando venivano preparate mappe più aggiornate. L'unica maniera in cui questi nuovi elementi avrebbero potuto essere inquadrati e compresi in Europa era di connetterli in maniera logica alle nozioni già acquisite. Le conoscenze geografiche del tempo erano però assai carenti sulla Scandinavia; essa rappresentava un vuoto per i più autorevoli cartografi europei. Se per ipotesi qualche occasionale mappa con informazioni sul continente americano fosse giunta attraverso i groenlandesi nelle mani dei cartografi europei, queste sarebbero arrivate dalla Scandinavia. Perciò era inevitabile

www.nostronomics.com

per qualche cartografo saltare alla conclusione che le nuove informazioni si riferissero alla geografia pressoché ignota della regione scandinava. Il risultato sarebbe che il profilo della Scandinavia risulterebbe del tutto irrealistico e con alcune somiglianze con territori nordamericani. Enterline ha formulato l'ipotesi che l'angolo nordoccidentale delle mappe del Vecchio Mondo appare aver assimilato, in varie occasioni, un profilo che trae le sue origini dal percorso che partendo dal Labrador, lungo il Passaggio a Nord-Ovest allora aperto, giunge fino all'Alaska. Rifletterebbe perciò la strada dell'emigrazione dei Thule sotto l'etichetta di "Scandinavia". È sensato immaginare che una nuova informazione geografica sarebbe stata associata alla località della sua immediata provenienza: se questi dati provengono dalla Scandinavia, avrebbero concluso i cartografi europei, devono riferirsi ad essa o a regioni limitrofe. Esiste un gran numero di mappe pre-colombiane che conserverebbero la memoria di contatti tra i norsemen e il territorio dell'America o con nativi americani. [47] Ma i norsemen non si resero conto di sapere qualcosa sul continente americano. In dozzine di mappe del Vecchio Mondo le coste artiche dell'Eurasia mostrano numerosi, benché incorretti dettagli. Gli europei non erano mai stati nell'Eurasia artica, e nemmeno avevano conoscenze cartografiche in proposito. Si potrebbero spiegare tutte queste rappresentazioni dettagliate come fantasie, ma potrebbe esserci una diversa interpretazione. Secondo Enterline dunque molti di questi dettagli corrispondono esattamente a caratteristiche della costa artica del Nord America invece che del blocco euroasiatico.

Le corrispondenze cartografiche sono un terreno assai rischioso e screditato per gli storici a causa degli abusi di scrittori popolari che divulgano conclusioni sensazionali ed implausibili. Tuttavia gli esempi cartografici esposti dallo studio di James Robert Enterline sono così numerosi che testimoniano un atteggiamento diffuso che richiede una spiegazione. Inoltre a favore delle sue ipotesi Enterline porta a sostegno anche numerosi itinerari di viaggiatori e descrizioni geografiche dell'America di epoca precedente Colombo. Le mappe del mondo disegnate nel medioevo in Europa erano in forma di descrizioni esperienziali, topografiche, (qualche studioso preferisce il termine *cartogramma*), piuttosto che rappresentazioni rigorose e dotate di griglie di coordinate secondo i criteri tolemaici. Mentre la cosiddetta *Yale Vinland Map* è oggetto da diverse decadi di studi e critiche per le sue incerte origini, esistono altri documenti di provenienza certa catalogati da secoli nelle biblioteche più autorevoli. In esse si può analizzare metodicamente la *sistematica distorsione* causata dal fraintendimento nell'identificazione dei continenti.

Una tra le mappe più interessanti a questo proposito è quella disegnata dal veneziano Abertinus de Virga tra il 1411 e il 1415, noto anche per una

www.nostronomics.com

mappa del Mediterraneo del 1409. [49] La mappa fu riscoperta nel 1911 in un negozio di antiquariato a Sebrenica, in Bosnia, da Albert Figdor, un collezionista di mappe. Fu analizzata dal professor Franz Von Weiser dell'Università di Vienna; furono fatte delle fotografie autenticate conservate oggi alla British Library. La carta geografica, messa all'asta nel 1932, venne però improvvisamente ritirata dai proprietari: si resero forse conto che aveva un valore molto più alto? Poi durante l'occupazione nazista probabilmente venne trafugata e da allora se ne sono perse le tracce. La mappa è circolare con un diametro di 410 mm ed è disegnata su una pergamena che comprende anche un calendario e due tavole. Una delle tavole serviva a calcolare le fasi lunari, l'altra la data della Pasqua. Nell'Europa settentrionale si trova "Norveca", la Norvegia, rappresentata con dimensioni enormi; probabilmente è una rappresentazione della Groenlandia e forse delle coste nord-orientali del continente americano. L'omissione dell'Islanda dimostra, come il resto della mappa, che de Virga non basò il suo lavoro cartografico sui concetti della *Geographia* di Tolomeo che appena allora cominciava a diffondersi in Europa. Non ci sono valide ragioni per dubitare della sua autenticità. In ogni caso, se anche si decide di non accogliere alcuna mappa come prova di una inconsapevole conoscenza medioevale di territori nordamericani, resta sempre una consistente testimonianza di documenti scritti, oltre beninteso, il sito archeologico di Anse aux Meadows. La più antica registrazione scritta sopravvissuta del Vinland è quella di Adamo di Brema (*Adam Bremensis*) (ante 1050–c. 1085), uno storico tedesco vissuto nella seconda metà dell'XI secolo. La sua opera più famosa è *Gesta Hammaburgensis ecclesiæ pontificum*. [50] L'opera è in quattro volumi, la prima edizione risale al 1075–76 e narra la storia dell'arcidiocesi di Amburgo-Brema e delle isole del Nord. Nei primi tre volumi si racconta principalmente la storia dell'arcivescovado, mentre l'ultimo è più incentrato sulla geografia, la storia e i costumi della Scandinavia. Nel quarto libro delle sue Gesta, *Descriptio Insularum Aquilonis* (Descrizione delle isole settentrionali), l'autore accenna al Vinland, la porzione di America settentrionale scoperta dai norsemen islandesi (identificata come Newfoundland, Canada), descrivendola come una grande isola scoperta "*da molti*" e ricca di viti. Per scrivere la *Descriptio* fece visita al re danese Svend Estridson che aveva conoscenza delle terre settentrionali e gli disse delle "isole" scoperte dai marinai norsemen, lontano nell'Atlantico delle quale il Vinland era la più remota. Adamo di Brema fu il primo a scrivere di questa scoperta, avvenuta pochi decenni prima della stesura del suo libro, che è ben attestata nelle saghe islandesi:

"Præterea unam adhuc insulam recitavit a multis in eo repertam

www.nostronomics.com

occeano, quæ dicitur Winland, eo quod ibi vites sponte nascantur, vinum optimum ferentes."

La testimonianza di Adamo è della massima importanza non solo perché è la più antica testimonianza scritta delle scoperte dei norsemen in America, ma anche perché è totalmente indipendente dagli scritti islandesi e si fonda interamente su tradizione norrene che a quel tempo erano ancora recenti. Agli inizi del XIV secolo, un'enciclopedia geografica, *Geographica Universalis*, fu compilata a Malmesbury Abbey in Inghilterra, e fu a sua volta impiegata come fonte per una delle opere di divulgazione inglese di maggior diffusione di qualche anno successiva, il *Polychronicon* di Ralph Higden (c. 1280–c. 1363). Quest'opera ebbe grande popolarità nel XV secolo; era il trattato standard sulla storia generale ed è nota l'esistenza di più di un centinaio di manoscritti. Entrambi questi lavori, con Adamo da Brema come possibile fonte, erano confusi circa la localizzazio-

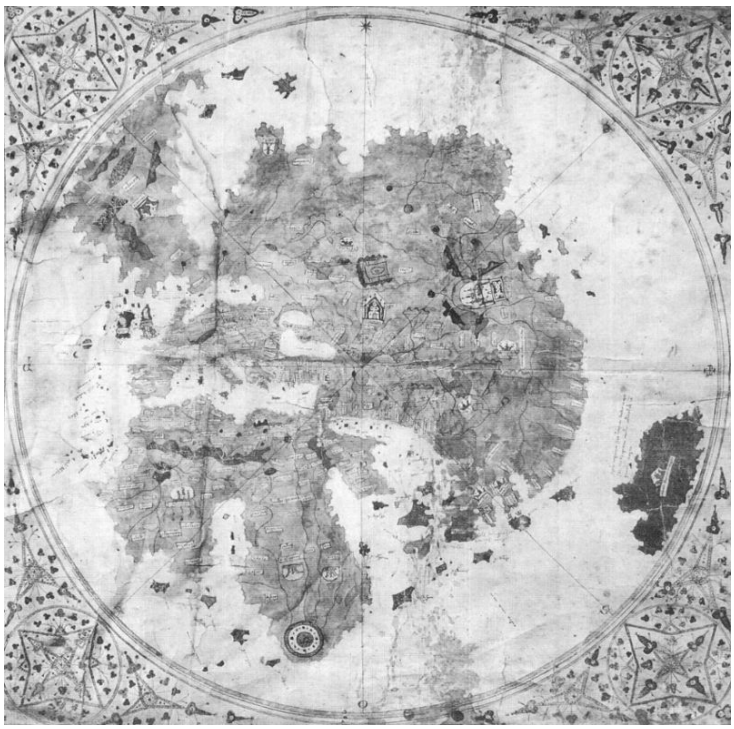

Figura 4.5 | Mappa del veneziano Abertinus de Virga (1411–1415), scoperta nel 1911 in un negozio di antiquariato a Sebrenica, in Bosnia. Nell'Europa settentrionale si può leggere Norveca (Norvegia), rappresentata con dimensioni enormi: probabilmente è una rappresentazione della Groenlandia e forse delle coste nord-orientali del continente americano. Potrebbe contenere informazioni geografiche su quelle terre provenienti dai Thule-Eskimo. (Wikimedia Commons; user PHGCOM)

www.nostronomics.com

ne di ciò che chiamavano *Wintland*: il monaco di Malmesbury lo colloca nell'oceano, ma ad est della Norvegia, mentre Higden lo pone a ovest della Danimarca, ma fornisce una distanza errata. Le copie del *Polychronicon* solitamente includevano una mappa sulle quali il Wintland era indicato nell'Oceano Atlantico, vicino all'Islanda, ma ancora molto più prossimo alla Scandinavia di quanto sia in realtà.

Più corretti erano invece i testi islandesi dello stesso periodo che forniscono una rappresentazione chiara delle regioni settentrionali come erano conosciute dagli esploratori norsemen: a nord dell'Islanda c'era una pianura brulla che riconosciamo essere la calotta polare estesa dal Biarmeland (Russia settentrionale) a est del Mare Bianco, alla Groenlandia, poi ancora a ovest e a sud c'erano in successione *Helluland*, *Markland* e *Vinland*. Gli islandesi non erano a conoscenza di quanto il Vinland si estendesse a sud e congetturavano che potesse essere lontano quanto l'Africa. I norsemen ritenevano che un grande istmo fosse esteso dalla Norvegia fino alla Groenlandia facendone una sola terra. Si credeva poi che la Groenlandia fosse estesa fino al Vinland che a sua volta si protraeva verso sud e proseguiva verso est, fin quasi a raggiungere l'Africa. La *Historia Norwegiæ* [51], compilato attorno al 1200 non si riferisce direttamente al Vinland e tenta di riconciliare le informazioni dalla Groenlandia con le fonti di origine continentale europea. In questo testo il territorio della Groenlandia si estende tanto che "*quasi tocca le isole africane*". Le cronache islandesi registrano un altro tentativo di visitare il Vinland dalla Groenlandia, oltre un secolo dopo i viaggi narrati nella saga. Nel 1121, il vescovo islandese Erik Gnupsson, a cui abbiamo già accennato, si era stabilito in Groenlandia fin dal 1112 e "*andò a vedere il Vinland*". Non è riportato altro su di lui e tre anni dopo un altro vescovo Arnald, fu inviato in Groenlandia. Nessuna registrazione scritta, oltre a inscrizioni su pietre è sopravvissuta in Groenlandia cosicché il successivo riferimento a un viaggio proviene ancora dalle cronache islandesi. Nel 1347 una nave giunse in Islanda dopo aver perso la rotta dal *Markland* alla Groenlandia con un carico di legname. Questa testimonianza implicherebbe che i groenlandesi abbiano continuato a impiegare il *Markland* come riserva di legname per diversi secoli.

Colombo vide questi documenti? Forse, o forse no. Tuttavia la sua concezione di terre ad ovest era ispirata da studiosi delle generazioni precedenti che li avevano visti. [47] Esistono prove che tali informazioni fossero disponibili nell'Europa meridionale ai suoi tempi e si possono fornire alcune evidenze, per lo meno provvisorie, che Colombo potesse avere accesso ad esse. Gli indizi suggeriscono che le informazioni geografiche degli eskimo circa una ampio continente americano trovarono la loro strada verso

www.nostronomics.com

le mappe europee medioevali tramite i norsemen della Groenlandia. Se la metà del XV secolo fu il periodo in cui gli studiosi dovettero assimilare le notizie provenienti dai contatti con i norsemen, l'ultima parte del secolo fu invece il tempo in cui cominciarono ad agire gli uomini pragmatici. Fu un periodo denso di progetti e di viaggi. Il Portogallo ad esempio stabilì un'alleanza con la Danimarca allo scopo di compiere delle esplorazioni in comune al tempo di Enrico il Navigatore. Questi aveva cercato una via verso l'Oriente passando a sud dell'Africa. I portoghesi riconobbero il ruolo danese includendo navigatori e comandanti scandinavi in alcuni di questi viaggi. Nel 1472 re Cristiano I di Danimarca fu persuaso dal portoghese Alfonso V ad esplorare le zone al di là della Groenlandia. Il progetto indica quanto meno la consapevolezza che esistesse una prossimità alla Groenlandia meritevole di essere conosciuta. Le poche tracce in nostro possesso della spedizione suggeriscono che fosse composta da diverse navi e potrebbe essere stata sotto il comando del pilota norvegese Johannes Scolvus; il portoghese inviato come osservatore era il nobiluomo João Vaz Corte-Real. Si è conservato molto poco delle attività o dei risultati di questa impresa. Nel 1474 Corte-Real divenne governatore di una parte dell'isola di Terceira nelle Azzorre come ricompensa per aver scoperto *Terra Nova do Bacalhau* (letteralmente Terra Nuova del Baccalà). Si ipotizza che questa isola altrimenti sconosciuta possa essere Newfoundland (Terranova) in Canada. Che la spedizione abbia raggiunto il continente americano non è dimostrato ma neppure può essere confutato a causa della scarsità di documenti. È però da menzionare che in Newfoundland al largo della Avalon Peninsula si trova un'isola disabitata di 5 km^2, *Baccalieu Island*, un nome derivato dal portoghese bacalhau. Sempre in quella zona ancora oggi esiste *Portugal Cove-St. Philip's*, una piccola comunità rurale costiera fondata dai portoghesi, uno delle primi villaggi europei nel Nuovo Mondo. Perché tanto interesse portoghese per queste regioni nell'Atlantico settentrionale? Cercavano forse una via per le Indie alternativa alla rotta verso l'Africa? È verosimile che Corte-Real abbia svolto nel 1486 un ruolo nell'incoraggiare la spedizione Dulmo-Estreito che si proponeva di partire proprio dalle Azzorre allo scopo di *"cercare e trovare una grande isola o isole oppure la costa del continente*". [47] Anche se i contatti europei con la Groenlandia sarebbero cessati nel 1420, durante gli anni '80 e '90 del XV secolo, si registrarono almeno sei imprese indipendenti volte ad esplorare il nord e l'ovest. Alcune di queste imprese furono chiaramente motivate da informazioni originate o trasmesse dai norsemen. Sarebbe irrealistico non considerare seriamente l'eventualità che *tutta* questa attenzione verso l'occidente fosse motivata da ciò, direttamente o indirettamente.

Il quadro che stiamo delineando sembra indicare che non ci sia stata

www.nostronomics.com

alcuna *prima* scoperta europea dell'America, nemmeno da parte dei norsemen; ci fu piuttosto una graduale diffusione nell'Europa continentale delle nozioni eskimo di terre collocate ad ovest della Groenlandia, seguita da tentativi europei di andare a vedere direttamente. Solamente molto più tardi qualcuno si rese conto che queste terre *non erano* Asia. Sembrerebbe quindi che il viaggio di Colombo debba essere collocato in una prospettiva ben più ampia: quella di un progressivo convincimento dell'esistenza di terre occidentali relativamente vicine all'Europa e all'Africa. Occorsero diverse decadi anche dopo il 1492, prima che la maggior parte dei geografi si rendesse conto che esisteva un'America distinta dall'Asia. Fin ad allora gli europei presumevano che ogni terra sull'altro lato dell'oceano dovesse essere Asia. Anche quando si venne a conoscere che era coinvolto un nuovo mondo, lo stato della sua conoscenza restava vago, teorico, e sostanzialmente un fraintendimento proveniente dalla tradizionale concezione degli *antipodi*. È possibile che i tre diversi obiettivi che Colombo considerava cioè, scorciatoia per l'Asia, nuove terre e ricerca degli antipodi, fossero in realtà formulazioni diverse di un unico impreciso obiettivo maturato confusamente nel clima culturale che stiamo descrivendo. Della mezza dozzina di libri che Colombo lesse più a fondo, e a cui si può attribuire una qualche influenza su di lui, almeno quattro dovevano essere in mano sua prima del 1492. Di questi testi essenziali nessuno era più importante per Cristoforo Colombo e in generale per la geografia del suo tempo, della *Geografia* di Tolomeo. In Italia e in Portogallo, dove Tolomeo aveva avuto la massima diffusione, l'autorità della *Geografia* era ritenuta superiore a quella di ogni altro testo. Colombo adottò il principio tolemaico di costruire le mappe in base a una griglia, e di determinare la posizione dei luoghi mediante coordinate di longitudine e latitudine. Poiché però non si conservano mappe originali da lui disegnate non si sa quanto poi fosse effettivamente fedele ai criteri tolemaici. L'atteggiamento di Colombo verso Tolomeo è un indizio interessante del suo modo di ragionare, e dei problemi dell'indagine scientifica in un'epoca in cui la sperimentazione cominciava a rivaleggiare con la tradizione come fonte di autorità scientifica. Colombo aveva un rispetto profondo per i testi e probabilmente nutriva nei loro riguardi una sorta di timore reverenziale. Ma sapeva che essi non potevano soddisfare la sua brama di conoscenza. D'altro canto lo studio e la conoscenza dei testi e l'accettazione dell'autorità anche di Tolomeo, quando si confaceva ai suoi scopi, esercitavano un'azione fecondante nella gestazione delle sue idee. Le postille di Colombo alla *Geografia* di Tolomeo non si sono conservate, ma sembra lecito assegnarli un posto primario nella formazione delle sue nozioni geografiche. [43]

Cristoforo Colombo aveva le lacune mentali tipiche dell'autodidatta,

www.nostronomics.com

i difetti che nascono dall'assorbire cognizioni a caso e senza guida. Leggeva avidamente, ma acriticamente; acquisì a mano a mano una massa di nozioni, ma non fu mai in grado di servirsene nel modo più proficuo. Nel ragionare giungeva d'un balzo, in base a prove tenuissime, a conclusioni bizzarre, che una preparazione più equilibrata gli avrebbe insegnato ad evitare. Selezionava in modo ossessivo le sue letture, scegliendo quelle che confortavano le sue teorie, scartando e travisando tutto ciò che non vi si accordava. Un'altra fonte di Cristoforo Colombo era *Il Milione* di Marco Polo (1254–1324). Il testo del viaggiatore veneziano era di antica data e molto letto al tempo di Colombo, ma la sua autorevolezza era controversa. Questo testo non conferiva il genere di autorità che per Colombo sarebbe stato saggio invocare, caratterizzato dal gusto per il meraviglioso e pieno di iperboli, ma nella scelta delle testimonianze Colombo fu sempre molto acritico. Marco Polo riferiva che a 1500 miglia dalla Cina si trovava l'isola di *Cipangu*. Era la prima notizia giunta in Europa sull'esistenza del Giappone, ma la sua veridicità veniva legittimamente messa in dubbio. Colombo si aggrappò a *Cipangu* coma ad una scialuppa di salvataggio e nella prima traversata atlantica non puntò inizialmente su di essa, ma modificò la rotta nella speranza di trovarla. Una volta nei Caraibi la cercò a più riprese e a volte pensò di averla trovata. Ma le affermazioni di Marco Polo circa l'esistenza di uomini con la coda, o con la testa di cane giustificavano la sua reputazione di favoleggiatore. Non si può invece provare che Colombo abbia letto Strabone, ma il cartiglio di una mappa attribuita a suo fratello Bartolomeo e noto agli scrittori cinquecenteschi citava il geografo greco, insieme a Tolomeo, Plinio e Isidoro.

Sotto alcuni punti di vista Cristoforo Colombo doveva apparire come un personaggio quantomeno eccentrico. Affermava di udire voci celesti, metteva in imbarazzo la corte dei sovrani spagnoli comparendo provocatoriamente in pubblico una volta addirittura in catene e regolarmente in abiti francescani, si rivolgeva alla regina con un linguaggio galante che ci lascia stupiti: "*Io vi diedi a Barcellona le chiavi dei miei desideri*". Sembra insomma che Colombo sapesse come attirare l'attenzione di Isabella ma non possiamo prestare fede a quanto egli e i suoi agiografi dicono delle reazioni della sovrana. Era ossessionato dalla leggenda delle amazzoni, prendendo nota di ogni riferimento che trovava, e per due volte, durante le sue esplorazioni nel Nuovo Mondo credette di aver incontrato queste creature o di averle mancate per poco. Una ricerca delle amazzoni faceva parte del suo disegno di difesa ed espansione della cristianità? Oppure vedeva in esse una fonte di immagini retoriche utili nelle sue conversazioni con la regina di Castiglia, sovrana consapevole di avere una carattere forte? Sarebbe facile scusare questi comportamenti o magari applaudirli

www.nostronomics.com

come le bizzarrie che spesso accompagnano il genio, tuttavia contribuiscono a formarci l'immagine di una personalità difficile da decifrare e per alcuni aspetti incomprensibile. [43]

Le *Historie* di Fernando Colombo (1488–1539), figlio e biografo di Cristoforo Colombo, trattano, al capitolo IX degli "indizi" che contribuirono a convincere il futuro Ammiraglio a viaggiare verso le Indie, sarebbero la "terza ragione" della scoperta. [52] È plausibile che gli argomenti della "terza ragione" siano stati in realtà i primi e più significativi indizi su cui si basò il navigatore genovese per concepire il suo piano di traversata atlantica. Ecco alcuni degli indizi come li riferiscono le *Historie* di don Fernando. Pietro Correa, cognato di Colombo, gli disse che a Porto Santo nell'arcipelago di Madeira a 860 km da Lisbona, aveva visto un legno, ben lavorato, giunto con i venti da occidente. Il mare depositò anche alcune grosse canne che da un nodo all'altro potevano contenere "nove caraffe di vino". Il re del Portogallo, João II, ragionando con Colombo su queste canne, ne mostrò alcune. Si escludeva che provenissero dall'Africa perché raccolte su spiagge di isole atlantiche, quando le correnti spiravano da ovest. Alcuni abitanti delle Azzorre riferirono a Colombo che quando spirava per molto tempo il vento da ponente, il mare gettava alcuni pini su quelle isole, specialmente Graciosa e Fayal. Ancora gli abitanti delle Azzorre dissero che nell'isola di Flores, una delle più occidentali, il mare gettò sulla spiaggia due corpi di uomini deceduti, di faccia molto larga e di aspetto diverso dagli europei. Mentre Fernando cita quest'ultimo ritrovamento di corpi, non menziona la testimonianza del padre scritta in una postilla, circa due cadaveri nel mare di Galway (Irlanda) portati dalle correnti marine dall'occidente. [42] È verosimile che le *Historie* non riferiscano tutti gli indizi raccolti da Colombo ed è difficile capire come interpretare queste testimonianze. In ogni caso l'attenzione di Colombo per le prove materiali anomale potrebbe essere accostata allo spirito che poco più tardi avrebbe portato alla creazione delle *Wunderkammern* (Camere delle meraviglie), un'espressione tedesca usata per indicare particolari ambienti in cui, dal XVI secolo al XVIII secolo, i collezionisti erano soliti conservare raccolte di oggetti straordinari per le loro caratteristiche intrinseche ed esteriori. Le *Wunderkammern* furono un fenomeno tipico del Cinquecento ma traggono le loro radici dal Medioevo e si possono considerare come il primo stadio dello sviluppo del concetto di museo. Alle Azzorre Colombo conobbe gli indizi più significativi fra quelli indicati da don Fernando. Indizi che forse volutamente evitò di citare. In quell'arcipelago Colombo imparò che non era quello il parallelo per la partenza perché sarebbe stato respinto dai venti. Capì invece che su quel parallelo c'era la via del ritorno. Partirà quindi dalle Canarie, ma forse questa era l'unica scelta possibile per una spedizio-

www.nostronomics.com

ne atlantica sotto le insegne spagnole. In realtà nel 1487 ci fu il tentativo da parte del portoghese João Afonso do Estreito e del fiammingo Ferdinand van Olm (Fernão Dulmo) di viaggiare per 40 giorni verso la leggendaria isola di *Antillia*. Si ritiene che la spedizione Dulmo-Estreito sia effettivamente partita ma il silenzio delle cronache portoghesi induce a pensare che si sia rivelata un completo insuccesso. [43] La causa del fallimento stava nel punto di partenza: le Azzorre. Sulla latitudine delle Azzorre i venti e le correnti rendono assai difficile spingersi ad ovest. Colombo perciò non soltanto scoprì l'America, ma scoprì la rotta di andata e quella di ritorno, fra l'Europa e il Golfo del Messico. Vale la pena sottolineare che la durata del viaggio preventivata dalla spedizione Dulmo-Estreito era di 40 giorni, praticamente quanto impiegato da Colombo nel 1492. Si deve interpretare questa coincidenza come totalmente fortuita oppure è un indizio che la *teoria dell'Atlantico stretto* collocava proprio a quelle distanze le terre occidentali e con qualche ragione?

A Palos Cristoforo Colombo incontrò padre Antonio de Marchena, un francescano che era anche cosmografo. Questi aiutò Colombo ad ottenere udienza presso la corte e consigliò il Navigatore. È difficile, data la scarsità di documenti, delineare con precisione il ruolo di padre Marchena. [42] È possibile che molte delle cose dette al francescano, Colombo non le abbia più dette a nessuno, forse per timore di rivelare troppi dettagli circa i suoi progetti. Non dirà per esempio della sua esperienza islandese, né delle carte di Toscanelli, né delle rotte per andare e tornare che aveva in mente. Forse agli studiosi che dovranno giudicare il suo progetto Colombo illustrerà altri argomenti, basati su testi classici e sulle Scritture, ma non i suoi argomenti, quelli che avevano persuaso lui. Marchena resterà sempre accanto a Colombo nei momenti più difficili dei sette anni che vanno dall'arrivo a Palos al primo viaggio di scoperta, e Colombo scrisse "*non trovai mai aiuto da alcuno, salvo padre Antonio de Marchena, dopo l'aiuto di Dio eterno*." Il religioso userà tutti i suoi contatti attraverso l'ordine dei francescani per permettere a Colombo di essere ascoltato alla corte di Castiglia.

Poiché Colombo ondeggiava fra tre possibili obiettivi, isole occidentali, via per l'oriente e la ricerca degli Antipodi, sembra che egli avesse non tanto un'idea precisa su ciò che si proponeva di scoprire, quanto la ferma determinazione a scoprire qualcosa. Ancora nel 1492 Colombo si era impegnato nella ricerca di "isole e terre"; ma nel corso di quell'anno l'accento, per quanto si può arguire dalle fonti, venne posto esclusivamente sulla ricerca di una via breve per l'oriente. [43] Ciò è coerente con i preparativi di Colombo: imbarco di un interprete orientale e credenziali implicitamente destinate al sovrano della Cina. Resta il fatto che i documenti della sua formazione intellettuale non ci consentono di capire quando e come avvenne

www.nostronomics.com

questa delimitazione dell'obiettivo. Nel 1492, o poco prima, lo scopo del progetto transatlantico si restrinse. Gli Antipodi e le isole sconosciute uscirono di scena, e si parlò solo della via breve per l'Asia. Ciò fa pensare ad un nesso fra la convergenza sull'obiettivo asiatico e il successo, tanto a lungo rinviato, della ricerca del patrocinio e del reperimento dei fondi necessari. Si può presumere con una certa fondatezza, che nessuno alla corte di Ferdinando e Isabella avesse molto a cuore nel 1492, la scoperta di altre isole atlantiche forse di scarso interesse e difficilmente colonizzabili e comunque fosse più urgente insediare coloni castigliani nel territorio di Granada appena conquistato. La scoperta degli Antipodi poi, non lasciava prevedere alcuna possibilità di profitto. Solo l'oriente con i suoi mercati poteva attirare l'attenzione della corte.

La partenza avvenne il 2 agosto 1492 da Palos de la Frontera con un equipaggio complessivo di 88 uomini secondo il computo più attendibile di cui disponiamo. Dopo uno scalo di circa un mese nelle Isole Canarie, a La Gomera, per rifornimenti e modifiche alla velatura, le tre navi ripresero il largo il 6 settembre. Spinte dagli alisei, i cui effetti Colombo dimostrò di intuire, le caravelle navigarono per un mese senza che i marinai riuscissero a scorgere alcuna terra. L'11 ottobre un marinaio pescò in mare un fiore fresco; poi si cominciarono a scorgere di frequente ramoscelli e vegetali e soltanto la vicinanza di una terra emersa poteva giustificare questi ritrovamenti. La notte dell'11 ottobre, come poi riportò sul libro di bordo, Colombo si disse convinto d'avere intravisto nel buio, in lontananza, una luce, "*como una candelilla que se levava y se adelantaba*" (come una piccola candela che si levava e si agitava). Finalmente, alle due di notte di venerdì 12 ottobre 1492, Rodrigo de Triana, a bordo della *Pinta*, avvistò terra: avevano raggiunto l'"Asia".

In quello stesso momento, a migliaia di chilometri di distanza in Polonia, viveva un ragazzo di diciannove anni destinato a portare avanti un'altra rivoluzione: Mikołaj Kopernik.

2 | La rivoluzione Copernicana

Il 1453 segna la fine dell'Impero Bizantino e con esso, del Medioevo. Costantinopoli era stata espugnata dai musulmani e cessò quindi di essere un centro di cultura greca. Nei decenni che avevano preceduto la fine dell'Impero Bizantino, i dotti greci avevano cominciato ad emigrare in Occidente e specialmente in Italia. Ora la lingua greca era assiduamente studiata nelle università e i dialoghi di Platone, la maggior parte dei quali sconosciuti nel Medioevo, erano diventati da qualche tempo disponibili

www.nostronomics.com

e stavano esercitando una profonda influenza. Benché la tradizione platonica tendesse all'astrazione e fosse estranea all'osservazione sistematica del mondo naturale, era tuttavia permeata da una visione matematica e armonica della natura e del cosmo.

Quella che si diffuse in Europa fu la corrente neoplatonica. Il *neoplatonismo* è quella particolare interpretazione del pensiero di Platone che fu elaborata in età ellenistica e diventò la principale scuola filosofica antica a partire dal III secolo d.C. Convenzionalmente il neoplatonismo viene fatto iniziare con l'attività di Plotino di Licopoli (205 d.C.–270 d.C.), che studiò ad Alessandria d'Egitto, dove fu allievo di Ammonio Sacca. Qui assimilò i fermenti culturali sia della filosofia greca che della mistica orientale, egiziana ed asiatica. Sorto all'epoca dell'Impero Romano, in seguito alla sua caduta il neoplatonismo andrà ad influenzare soprattutto la filosofia occidentale, distinguendosi dal platonismo di marca bizantina, rimasto più fedele al Platone della tradizione.

Ma una vera e propria ripresa delle idee neoplatoniche si ebbe durante l'Umanesimo e il Rinascimento, quando esse arrivarono a caratterizzare quasi tutta la filosofia rinascimentale, e durante il quale verranno sottoposte a deformazioni ermetiche, magiche ed esoteriche. La rinascita del neoplatonismo fu favorita in particolare dall'influsso della cultura bizantina; la filosofia rinascimentale tuttavia non si limitò a recepire il platonismo greco, ma lo rielaborò integrandolo non solo col neoplatonismo già presente in ambito occidentale, ma anche con l'aristotelismo apportato dagli arabi. Le idee di Platone, Aristotele e Plotino si ricongiunsero così a Firenze, culla dell'Italia rinascimentale. Il neoplatonismo conobbe allora una notevole diffusione in quasi tutti gli ambienti culturali, anche al di fuori delle scuole o delle accademie. Soprattutto Cusano, Ficino, e Pico della Mirandola, contribuirono alla sua grande rinascita. Marsilio Ficino (1433–1499) in particolare, diede vita all'Accademia Neoplatonica fondata a Firenze nel 1459 per incarico di Cosimo de' Medici, nella Villa medicea di Careggi. Domenico Maria da Novara (1454–1504), amico di Copernico e suo docente a Bologna, fu strettamente legato ai neoplatonici fiorentini che tradussero le opere del filosofo e matematico Proclo (412–485) e di altri autori della sua scuola. Novara fu tra i primi a criticare la teoria planetaria tolemaica con argomentazioni neoplatoniche, ritenendo che nessun sistema così complesso potesse rappresentare il vero ordine matematico della natura. Fu quindi in questo clima culturale che si formò Copernico, autore di un'opera che provocò una rivoluzione più che costituire un testo rivoluzionario. Il trattato di Copernico rappresenta ad un tempo l'apogeo di una tradizione passata e la fonte di una tradizione futura; nel suo complesso, esso rimane tuttavia interamente nell'ambito dell'astronomia medioevale.

www.nostronomics.com

Niccolò Copernico (1473–1543) nacque a Toruń in Polonia e studiò all'università di Cracovia. Questa era lontana dai grandi centri culturali dell'epoca, cionondimeno aveva una importante tradizione in astronomia. Nel 1496 Copernico si recò a studiare in Italia. Qui studiò diritto a Bologna dove venne registrato nella Natio germanica come "*Nicolaus Kopperlingk de Thorn*". Successivamente a Padova studiò medicina; prese infine il dottorato in diritto canonico a Ferrara nel 1503. Imparò anche il greco e sviluppò un interesse per l'astronomia. Fece la sua prima osservazione registrata nel marzo del 1497 e il suo futuro discepolo Retico (Georg Joachim von Lauchen, 1514–1574), ci dice che intorno al 1500 Copernico tenne delle conferenze di astronomia dinanzi a un pubblico. In quell'epoca c'era un grosso problema che riguardava l'astronomia pratica: il calendario, risalente a Giulio Cesare che lo introdusse nel 46 a.C., non era più in accordo con le stagioni e nel 1582, anno della promulgazione del calendario gregoriano, c'era uno sfasamento di dieci giorni. Per quel che riguardava invece l'astronomia matematica il motivo di scandalo era costituito dalla presenza dell'equante nel modello di Tolomeo descritto nell'Almagesto. Un altro problema piuttosto serio della teoria tolemaica era costituito dal modello del moto lunare. La teoria tolemaica lunare era soddisfacente solamente per quanto concerneva il computo della posizione, ma implicava la sconcertante conseguenza che la distanza tra la Terra e la Luna variasse da 33 a 64 raggi terrestri. [31] Una simile variazione della distanza avrebbe avuto come conseguenza una fluttuazione del diametro apparente della Luna di quasi un fattore 2 che non trovava conferma osservativa. Inoltre era perduta un'opera di Tolomeo, le *Ipotesi planetarie* e con essa una trattazione unitaria dei pianeti. In questa opera Tolomeo descriveva dei modelli planetari basati su quelli dell'Almagesto ma differenti in alcuni aspetti signi-

Equante
L'*equante* (o *Punctum æquans*) è un artificio matematico introdotto da Tolomeo per salvare la regolarità dei moti planetari. Questo punto è definito in modo tale che la linea che lo unisce al centro dell'epiciclo descrive in tempi uguali archi uguali. Nel sistema tolemaico il Sole ruotando attorno alla Terra, mantiene costante la sua velocità angolare rispetto l'equante. La Terra è situata in un punto diverso dal centro, mentre il punto equante si trova nella posizione simmetrica dalla parte opposta. Il pianeta si muove con velocità variabile per cui osservato dal punto equante, sembra muoversi di moto uniforme. Perciò il pianeta è più lento quando è vicino al punto equante e più veloce quando ne è lontano. Questi rallentamenti ed accelerazioni violavano una regola fondamentale della filosofia aristotelica: l'uniformità dei moti. ▷

www.nostronomics.com

Nel XIII secolo l'astronomo al-Tusi a Maragha nell'Iran settentrionale, riuscì ad escogitare un sostituto soddisfacente per l'equante che impiegava solamente moti circolari uniformi. Ad ogni pianeta venivano aggiunti due piccoli epicicli, una complicazione che sembrava valesse la pena di pagare. Questo artificio è noto come *Tusi couple*, un termine moderno coniato dallo storico dell'astronomia Edward Kenned nel 1966. Gli scritti di al-Tusi sono rimasti sostanzialmente sconosciuti in Europa. Non è stata trovata alcuna traduzione latina di queste opere arabe, né una loro esposizione in testi latini. Il concetto di equante è di particolare importanza perché le obiezioni estetiche che Copernico formulò su di esso gli fornirono uno dei motivi per respingere il modello tolemaico e ricercare un modello planetario radicalmente diverso. Copernico si servì di epicicli ed eccentrici, come i suoi antichi predecessori, ma non di equanti e ritenne che non averli impiegati fosse uno dei vantaggi del suo sistema. Nel De Revolutionibus Copernico per eliminare l'equante impiegò sostanzialmente un espediente simile a quello sviluppato da Ibn al-Shatir (1304–1375). E' tuttavia controverso se davvero Copernico conoscesse queste tecniche di sostituzione del *Punctum æquans* o se le abbia sviluppate indipendentemente. Da una prospettiva moderna si può affermare che il punto equante di Tolomeo è strettamente affine al "fuoco vuoto" di un'orbita ellittica di Keplero, mentre l'altro fuoco è occupato dal Sole (Prima Legge di Keplero). Un pianeta osservato dal "fuoco vuoto" appare infatti muoversi attorno al Sole con una velocità sostanzialmente uniforme.

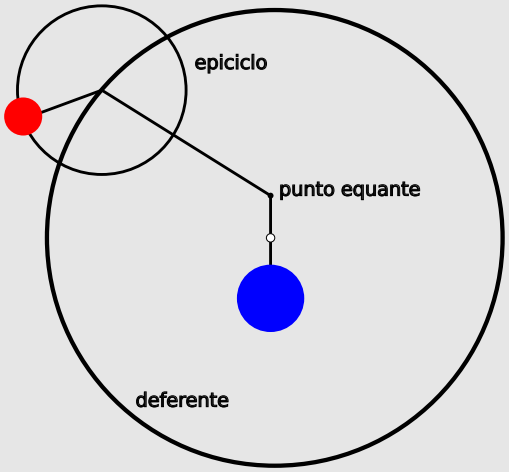

Figura 4.6 | Modello ad epiciclo e deferente con equante. Osservato dal centro geometrico del suo deferente, sembra che il pianeta si muova a velocità irregolare o che ondeggi, mentre ha un moto regolare se osservato dal punto equante.

Video download – Eccentrici, equanti ed ellissi: tentativi di approssimazione alle orbite vere (avi-DivX®, 2,8 Mb).

ficativi e lo scopo delle Ipotesi planetarie era piuttosto quello di costruire dei meccanismi, in seguito chiamati *equatoria*, che permettevano una stima delle posizioni dei pianeti: si trattava cioè di calcolatori analogici. [53]

www.nostronomics.com

NICOLAI
COPERNICI TO-
RINENSIS DE REVOLVTIONI-
bus orbium cœleſtium,
Libri VI.
IN QVIBVS STELLARVM ET FI-
XARVM ET ERRATICARVM MOTVS, EX VETE-
ribus atq; recentibus obſeruationibus, reſtituit hic autor.
Præterea tabulas expeditas luculentasq; addidit, ex qui-
bus eoſdem motus ad quoduis tempus Mathe-
matum ſtudioſus facillime calcu-
lare poterit.
ITEM, DE LIBRIS REVOLVTIONVM NICOLAI
Copernici Narratio prima, per M. Georgium Ioachi-
mum Rheticum ad D. Ioan. Schone-
rum ſcripta.
Cum Gratia & Priuilegio Cæſ. Maieſt.
BASILEAE, EX OFFICINA
HENRICPETRINA.

Figura 4.7 | Nicolai Copernici Torinensis De Revolutionibus Orbium Coelestium, Libri VI (frontespizio della 2^a edizione, Basel, 1566). (Wikimedia Commons; user Joonasl)

Tutto quello che si aveva a disposizione nell'Almagesto era una descrizione del modello a epiciclo e deferente per ogni singolo pianeta, ma in esso l'autore non specificava se i modelli matematici trattati potessero essere considerati fisicamente. Il fatto che Tolomeo non sviluppasse una descrizione dei moti planetari unitaria e coerente urtava particolarmente la sensibilità neoplatonica del tempo, rendendo l'Almagesto insoddisfacente. A questo aspetto estetico faceva però da contrappeso la precisione sufficiente con cui il modello tolemaico consentiva di prevedere le posizioni dei pianeti. Erano secoli che gli astronomi matematici, arabi prima e poi latini, seguendo le prescrizioni di Tolomeo, calcolavano tavole per le posizioni planetarie. [32]

C'erano dunque ottime ragioni per cercare di costruire un modello dei moti planetari che salvasse tutte le apparenze osservate, evitasse l'equante e avesse una precisione pari a quella dell'antica astronomia tolemaica. Ma non era affatto un'impresa semplice. Copernico però aveva alcuni indizi che potevano indicargli la strada su cui muoversi. Un indizio era rappre-

www.nostronomics.com

sentato da una misteriosa constatazione che gli astronomi di varie epoche avevano già notato, ed era il fatto che nelle periodicità dei moti dei pianeti appariva, come una costante, il periodo di rivoluzione del Sole, ovvero l'anno. Era evidente che i pianeti condividevano qualcosa con il Sole, ma cosa e perché? In un modello eliocentrico il "mistero" dell'onnipresente periodo del Sole scompare, perché è solo in un modello geocentrico, dove cioè si descrivono i moti rispetto ad un osservatore sulla Terra, che il periodo orbitale terrestre compare senza accorgersene. Se si smette di descrivere i moti planetari come riferiti alla Terra e si afferma che è la Terra a girare attorno al Sole in un anno, allora l'anomalia non si osserva più. [22]

Nel 1503 Copernico ritornò in Polonia e diventò canonico della cattedrale di Frauenburg e in privato continuò a coltivare gli studi astronomici. Non conosciamo molto degli sviluppi del suo pensiero, ma dopo non molto tempo che era tornato in patria, comparve un opuscolo manoscritto il *Commentariolus* (*Hypothesibus motuum coelestium a se constitutis commentariolus*). Copernico non pubblicò il Commentariolus e lo consegnò solamente a pochi amici, ma non sappiamo chi lo ricevette e quando. Sembra che la versione preliminare di questo manoscritto sia stata composta qualche tempo prima del 1515. In questo "piccolo commento" esponeva le sue perplessità verso i modelli planetari esistenti e dedicò un'interesse particolare per la faccenda degli equanti. Formulò anche dei punti fermi, le *petitiones*, per una visione alternativa basata sul moto della Terra attorno al Sole. Questa scelta del sistema eliocentrico permetteva inoltre di assegnare l'ordine dei pianeti in maniera del tutto priva di ambiguità, mentre diversi autori geocentrici come Platone e Cicerone, erano stati in disaccordo sull'ordine spettante al Sole nella sequenza. La scelta di un modello eliocentrico consentiva infine di eliminare gli equanti per i pianeti e per la luna.

Non si seppe molto del canonico polacco fino a quando nel 1539 Retico, che insegnava matematica all'Università di Wittenberg, si recò a fargli visita. Il risultato di questo contatto fu che Copernico acconsentì alla pubblicazione curata da Retico di un'opera, la *Narratio Prima (De libris revolutionum Copernici narratio prima*), stampata l'anno seguente. La pubblicazione di questa opera non scatenò particolari polemiche e forse fu questo a convincere Copernico ad affidare di nuovo a Retico la sua opera magna: *Nicolai Copernici Torinensis De revolutionibus orbium coelestium, Libri VI*, nota universalmente come "*De Revolutionibus*" pubblicata nel 1543 anno della morte di Copernico. [54] Accadde però che Retico, a causa degli obblighi di insegnamento non aveva potuto presiedere al lungo lavoro di preparazione e stampa dell'opera. Si era così appoggiato a un teologo luterano Andreas Osiander (1498–1552) il quale, in perfetta buona fede,

www.nostronomics.com

e animato dall'intenzione di proteggere l'autore da spiacevoli controversie, aveva premesso all'opera una prefazione per giunta non firmata (e che molti pertanto attribuirono a Copernico stesso), in cui diceva che l'autore non sosteneva veramente l'ipotesi del moto della Terra attorno al Sole, ma che questa era semplicemente una ipotesi utile sulla quale basare i calcoli dei modelli planetari. [32] La prefazione di Osiander oscurò il messaggio di Copernico e la posizione dell'astronomo polacco sarebbe stata chiara a chiunque avesse studiato per intero l'opera, ma i lettori erano per lo più astronomi matematici preoccupati di calcolare tavole planetarie più che pensatori interessati a capire quale dovesse essere la "vera" cosmologia. Dobbiamo ad Owen Gingerich un accurato lavoro di indagine, lungo 35 anni, di tutte le copie ancora reperibili delle prime due edizioni del *De Revolutionibus*. Tale ricerca sui commenti a margine degli astronomi proprietari di quei libri, ha evidenziato come essi fossero interessati ai calcoli ed abbiano sostanzialmente ignorato la cosmologia. [46] Per esempio Erasmus Reinhold (1511–1553), rettore dell'Università di Wittenberg adottò il modello esposto da Copernico nel *De Revolutionibus* e calcolò le sue *Tabulæ prutenicæ*, note anche come Tavole prussiane, nel 1551, apportando piccole correzioni ai parametri dei modelli di Copernico. Con esse Reinhold intendeva sostituire la Tavole Alfonsine vecchie ormai di tre secoli. Cristoforo Clavio utilizzò le tavole pruteniche di Reinholds e il lavoro di Copernico come basi per la riforma del calendario voluta da Papa Gregorio XIII. Quando la riforma entrò in vigore nei paesi cattolici, al giovedì 4 ottobre 1582 del calendario giuliano, seguì il venerdì 15 ottobre 1582 del nuovo calendario gregoriano. Nel Regno Unito e in altri paesi il calendario non fu riformato fino al 1752 e per andare in pari con le stagioni si dovettero aggiungere ormai 11 giorni passando dal 2 al 14 settembre. In Russia, infine, il calendario gregoriano fu introdotto soltanto nel 1917.

Ad eccezione del primo libro introduttivo, il *De Revolutionibus* è per il resto troppo matematico per poter essere letto e capito da chi non sia tecnicamente preparato in astronomia. La monumentale opera di Copernico è essenzialmente un trattato di matematica. L'esposizione del sistema copernicano occupa solamente metà circa del primo libro del *De Revolutionibus*, il restante 95% dell'opera consisteva in calcoli che dimostravano come l'ipotesi eliocentrica potesse spiegare e predire i moti planetari senza l'equante. [22] Era finalmente stata ricostruita l'astronomia planetaria, che l'Almagesto non descriveva unitariamente.

Il *De Revolutionibus* esaminato nella prospettiva delle sue conseguenze appare come un'opera severa, equilibrata e conservatrice. [32] Sotto ogni aspetto, fatta eccezione per il moto della Terra, sembra che il *De Revolutionibus* sia più affine alle opere di Tolomeo e degli astronomi medioevali che

www.nostronomics.com

agli scritti delle generazioni successive, i quali basarono la loro opera su quella di Copernico. Essi spinsero le conseguenze di quanto affermato da Copernico fino ai limiti più estremi che neppure l'autore del *De Revolutionibus* aveva intravisto nel proprio lavoro. Tra le prime conseguenze vi fu una immediata dilatazione della sfera celeste. La Terra può avere un moto orbitale attorno al centro della sfera celeste o attorno al Sole centrale, purché la sua orbita non la porti mai troppo lontano dal centro. In caso contrario l'osservazione delle stelle evidenzierebbe questo spostamento. Perciò ne segue che la sfera delle stelle fisse deve essere enormemente più grande del diametro dell'orbita terrestre, molto più ampia di quanto supposto in precedenza.

Il filosofo e storico della scienza Thomas Khun (1922–1996) ha indicato tre significative *incongruenze* nel *De Revolutionibus*: si tratta di contraddizioni che trovano una giustificazione nella sua natura di opera spartiacque tra due epoche. [32]

- La **prima incongruenza** del *De Revolutionibus* è la *sproporzione tra l'obiettivo che fu la causa dell'innovazione copernicana e l'innovazione stessa*. Copernico vuole abolire la mostruosità dell'equante, ma si ritrova a far orbitare la Terra attorno al Sole, quasi fosse un semplice corollario del problema dei pianeti. Egli si convinse del moto della Terra esaminando i moti celesti. Nell'opera di Copernico la concezione rivoluzionaria del moto della Terra costituisce inizialmente un risultato anomalo e collaterale del tentativo di un astronomo matematico di riformare le tecniche di calcolo delle posizioni dei pianeti.
- La **seconda incongruenza** fondamentale del testo consiste nella constatazione che *la rivoluzione copernicana, come noi la conosciamo, può essere difficilmente ritrovata nel* De Revolutionibus. Gran parte degli elementi essenziali per i quali la rivoluzione copernicana ci è nota, cioè calcoli semplici ed accurati della posizione dei pianeti, l'abolizione degli epicicli e degli eccentrici, la disintegrazione delle sfere celesti, il Sole inteso come stella, non si possono trovare in nessun punto dell'opera di Copernico.
- La **terza incongruenza** del *De Revolutionibus* è che *il sistema planetario di Copernico in realtà non è un sistema esattamente centrato sul Sole*. Far muovere la Terra non mette Copernico neppure in grado di fare a meno degli epicicli cosiddetti minori che non implicavano la retrogradazione dei moti planetari ma che tuttavia servivano per correggere alcune imprecisioni. Per spiegare la maggiore velocità a cui il Sole si sposta durante l'inverno attraverso le costellazioni dello zodiaco, Copernico rese eccentrica l'orbita della Terra, spostando il suo

www.nostronomics.com

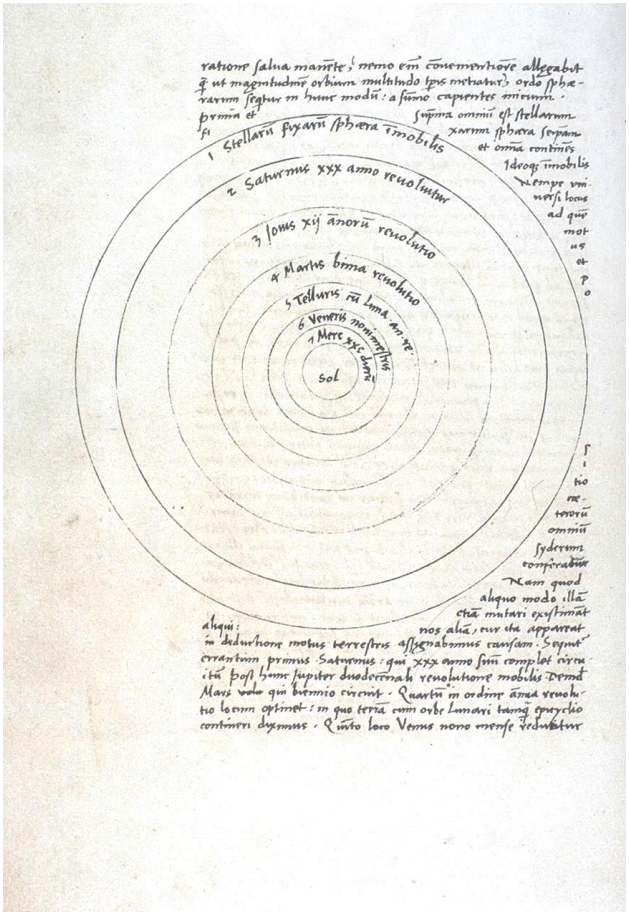

Figura 4.8 | De revolutionibus orbium coelestium, Libro I, Capitolo 10. Il sistema dei sette circoli presentato nel Libro I del *De Revolutionibus* è diventato il simbolo della nuova astronoma eliocentrica. Si tratta di una descrizione meravigliosamente semplice ma illusoria. Il vero modello copernicano, sviluppato nella restante parte dell'opera, risultò macchinoso quasi quanto il sistema tolemaico: infatti entrambi impiegavano più di trenta circoli. (Wikimedia Commons; user Matthead)

centro da quello del Sole. Per spiegare altre irregolarità del moto apparente del Sole, messe in evidenza da osservazioni antiche e della sua epoca, egli assegnò addirittura un movimento a questo centro spostato. Dovette quindi introdurre una serie di piccoli epicicli ed eccentrici per ottenere una precisione sufficiente. Il centro dell'orbita di Marte, per esempio, è spostato rispetto al centro dell'orbita della Terra. Ma le complicazioni non finiscono qui. Altri accorgimenti si resero necessari per giustificare le deviazioni verso nord e verso sud di ciascun pianeta dall'eclittica. Il risultato finale non fu perciò un sistema propriamente "eliocentrico."

La prefazione dell'opera si apre con un forte atto di accusa contro l'astronomia tolemaica per la sua imprecisione, la sua complessità e la sua incoerenza. Eppure Copernico si rende colpevole di almeno alcune di queste manchevolezze. Il sistema copernicano non è né più semplice né più preciso di quello di Tolomeo. Inoltre *Copernico non fu in grado di dedurre dalle sue*

www.nostronomics.com

ipotesi una combinazione particolare ed unica di circoli indipendenti e nemmeno lo fecero i suoi successori. Quegli aspetti della tradizione tolemaica che avevano indotto Copernico a tentare un'innovazione radicale non vennero eliminati del tutto. Tolomeo aveva introdotto 12 cerchi per giungere ad una spiegazione della retrogradazione dei pianeti: uno ciascuno per il Sole e la Luna e due ciascuno per i pianeti, cioè il deferente e l'epiciclo. Copernico invece giunse alla medesima spiegazione *qualitativa* solamente con sette cerchi. Impiegò soltanto un cerchio, centrato sul Sole per ciascuno dei sei pianeti e uno per la Luna. Se si è unicamente interessati ad una spiegazione qualitativa dei moti planetari, il sistema di Copernico appare come il più semplice e, tra i due, è certamente quello che soddisfa le richieste del Rasoio di Occam. Ma questa economia del modello copernicano in realtà è illusoria. Il sistema dei sette circoli presentato nel Libro I del *De Revolutionibus* non permette di prevedere la posizione dei pianeti con una precisione paragonabile a quella offerta da Tolomeo. Ha la precisione di una versione semplificata a 12 circoli del sistema tolemaico. Per giungere ad una spiegazione accettabile sul piano *quantitativo* della variazione della posizione dei pianeti, Tolomeo era stato costretto a complicare il sistema fondamentale dei 12 circoli con epicicli minori, eccentrici ed equanti. Anche Copernico fu costretto ad usare epicicli minori ed eccentrici per ottenere risultati sufficientemente precisi dal suo sistema, tanto che il suo modello completo risultò solamente poco meno macchinoso di quanto non fosse il sistema tolemaico: infatti entrambi impiegavano più di trenta circoli. Il *De Revolutionibus* convinse in effetti alcuni dei successori di Copernico che la chiave del problema dei pianeti era in un sistema centrato sul Sole, ma perché essi diventarono copernicani in mancanza di una maggiore economia o precisione? Che ragioni essi potevano avere per scambiare di posto la Terra con il Sole? Astronomi come Reinhold trovarono più sensato studiare l'opera di Copernico piuttosto che riferirsi a quella di Tolomeo, ormai vecchia di 14 secoli. Con il passare del tempo diventò sempre più faticoso trovare valide ragioni per mantenere una visione geocentrica piuttosto che abbracciare il copernicanesimo. Molti astronomi ritennero possibile sfruttare il sistema copernicano, contribuendo alla sua affermazione, pur negando il moto della Terra o non pronunciandosi. Il silenzio di Reinhold sulla validità fisica del sistema matematico che egli aveva adottato per compilare le Tabulæ prutenicæ è stato interpretato come un sintomo dell'opposizione ufficiale al copernicanesimo nell'università protestante di Wittemberg. Gli astronomi rinascimentali potevano prendersi la libertà di trattare il circolo che rappresentava l'orbita della Terra attorno al Sole come una finzione matematica utile soltanto per i calcoli; essi avrebbero potuto calcolare *come se* la Terra si muovesse, senza impegnarsi sulla realtà fisica di quel

www.nostronomics.com

moto. Osiander nella sua anonima prefazione aveva in effetti incoraggiato i lettori ad avvalersi di questa possibilità. [32]

Siamo giunti così ad una questione assai critica e tutt'ora aperta, ed è quella del grado di verità da attribuire alle teorie scientifiche. In che sen-

Realismo vs. Empirismo

Nella filosofia contemporanea il *realismo* è la credenza in una realtà che esista indipendentemente dai nostri schemi concettuali, dalle nostre pratiche linguistiche o dai nostri pensieri. I filosofi e gli scienziati che si dichiarano realisti pensano che la verità consista in una qualche forma di corrispondenza dei pensieri alla realtà esterna. Approssimativamente, il realismo scientifico è la tesi che le entità *non osservabili* trattate dalla scienza sono poco differenti dalle normali cose osservabili (come tavoli e sedie).

L'*empirismo* (dal greco $\epsilon\mu\pi\epsilon\iota\rho\iota\alpha$, *esperienza*) è invece la corrente filosofica, nata nel Seicento in Inghilterra, secondo cui la conoscenza umana deriva esclusivamente dai sensi o dall'esperienza. In senso lato, oggi per empirismo si intende un approccio sperimentale alla conoscenza, basato sulla ricerca e il procedimento induttivo a posteriori, preferiti alla pura logica deduttiva. In questo senso possono essere fatti rientrare nella corrente empirista anche Aristotele, San Tommaso d'Aquino, Francis Bacon, Thomas Hobbes. L'empirismo fu precursore del *positivismo logico*, noto anche come *empirismo logico*. Il positivismo logico, è una corrente filosofica che sorge nella prima metà del Novecento, basata sul principio che la filosofia debba aspirare al rigore proprio della scienza. Gli inizi del positivismo logico si fanno risalire al 1910–1921, quando un gruppo di intellettuali, il cosiddetto *Circolo di Vienna*, si riuniva in un caffè della capitale austriaca, il Café Central, per discutere della filosofia della scienza di Ernst Mach. Alla base del positivismo stanno i concetti di *empirico*, ossia relazionato all'esperienza, e *logico*, cioè il sapere analizzato secondo i criteri rigorosi della logica. L'affermazione più caratteristica del positivismo logico è che una proposizione ha significato solo se essa è *verificabile*. Ne segue che sono dotate di significato le proposizioni empiriche, come "tutti i gravi cadono verso il centro della Terra", verificate per via di esperimenti. Per i positivisti lo scopo della scienza è l'accordo con i dati sperimentali. Se riusciamo a fare predizioni che giustificano in maniera accurata ed elegante il comportamento del dispositivo di misura, il gioco è fatto. I dilemmi ontologici (cosa esiste realmente?) costituiscono un lusso irrilevante e vanno messi da parte. La storia di questo punto di vista è molto lunga; Osiander nella prefazione del De Revolutionibus, invita a considerare il sistema copernicano semplicemente come un mezzo conveniente per "salvare le apparenze", un modo comodo per calcolare in quale punto del cielo devono trovarsi i pianeti. Perciò un astronomo non è tenuto a credere che la Terra si muova davvero attorno al Sole; è legittimo pensare che per Copernico quell'ipotesi non sia stata altro che un utile strumento di calcolo. ▷

www.nostronomics.com

Per avere successo le teorie fisiche devono pertanto dimostrare di saper riprodurre i fatti sperimentali. Nella visione positivista uno scienziato può lavorare con una teoria senza essere obbligato a ritenerla "vera". Si potrebbe dire che per il positivista la scienza va presa sul serio ma non al punto di crederci.
Per i realisti, invece, il ruolo della scienza è quello di scoprire l'essenza reale del mondo fisico. Si tratta di un obiettivo che non potrà mai essere raggiunto: ci saranno sempre domini fisici nuovi che attendono di essere studiati e il cui comportamento potrebbe mostrare delle caratteristiche assolutamente inattese. Facciamo un esempio per illustrare le differenze tra realismo e positivismo logico. Consideriamo il Sole. Un corpo materiale qualsiasi, detto *corpo di prova*, collocato ovunque in vicinanza del Sole, ne subirà l'attrazione, diretta lungo la congiungente i rispettivi centri. Spostiamo ora il corpo di prova in altre zone prossime al Sole e continueremo ad osservare l'attrazione solare. Esiste quindi una regione dello spazio attorno al Sole dove si osserva una forza di gravità *quando viene collocato un corpo di prova*. Chiamiamo questa regione e la sua "perturbazione", *campo gravitazionale*. Domandiamoci: Il campo gravitazionale generato dal Sole, esiste indipendentemente dal corpo di prova, oppure solamente in presenza di esso?
È chiaro da quanto detto che possiamo *rilevare* il campo gravitazionale solamente per mezzo del corpo di prova. Ma questa entità, il *campo,* che abbiamo introdotto generalizzando a tutti i punti della regione attorno al Sole quanto abbiamo verificato solamente per *alcuni* punti particolari, (quelli cioè dove abbiamo effettivamente collocato il corpo di prova), esiste davvero? In fondo noi non osserviamo direttamente il campo ma solamente i suoi effetti, cioè l'attrazione gravitazionale. Alla domanda che ci siamo posti i *realisti* e i *positivisti logici* darebbero risposte differenti. Per un *realista* i test eseguiti con il corpo di prova evidenziano l'esistenza di un aspetto della realtà, non direttamente percepibile, che chiamiamo campo gravitazionale, tra le cui proprietà c'è l'attrazione osservata, ma potrebbe averne altre ancora sconosciute. È quindi l'oggetto di un'indagine.
Un *positivista logico* invece non si interroga sull'esistenza o meno del campo, ma è interessato unicamente all'accordo con i dati sperimentali. Se il "modello teorico" che ipotizza il concetto di campo descrive correttamente quanto osservato, allora lo adottiamo, se al contrario non descrive i fatti, allora lo rigettiamo. Ogni altra considerazione per un positivista logico sarebbe solamente "metafisica" e pertanto estranea alla scienza.

Gift Shop! Nostromics Store – History of science

so esse descrivono la realtà? Quando abbiamo elaborato un modello del mondo attorno a noi che ha successo nel fare certe previsioni, siamo tenuti a credere che sia "vero" e che la realtà sia proprio così? Oppure potrem-

mo adottarlo pur senza essere obbligati a credere nella sua verità? Il punto in discussione è che non esiste una via univoca che conduca dalla realtà alla rappresentazione del modello matematico. In altri termini il fenomeno studiato non determina la sua descrizione matematica. Ciò che si fa è di tradurre in formule le idee e le conoscenze relative al fenomeno, non il fenomeno in sé. Questo in primo luogo perché la realtà è costituita da un intrico talmente complesso e inestricabile di fenomeni da impedirne una descrizione semplice e schematica. Occorre inevitabilmente discernere in questa complessità ciò che si vuole individuare come oggetto della nostra indagine. Dovremo operare delle scelte, selezionare degli aspetti e isolarli dai tanti altri, effettuando questa operazione in modo corretto. Non dobbiamo considerare secondari aspetti che sono invece fondamentali per l'oggetto che ci proponiamo di studiare e viceversa. Il modello è quindi un costrutto matematico che descrive i fenomeni osservati. Esso è una rappresentazione formale di idee e conoscenze di un fenomeno ma non pretende di esaurirne il significato e neppure di interpretarlo. Si propone soltanto di fornire un'immagine di alcuni suoi aspetti, per l'appunto quelli che abbiamo scelto di selezionare. Perciò i modelli, se preferite le "teorie", proprio per i loro limiti intrinseci, non vanno valutati sul piano della loro *verità* quanto su quello della loro *efficacia*. Questa però è, a rigore, una interpretazione che sottoscriverebbe un *empirista*, oggi diremmo un *positivista logico*. Al contrario, uno scienziato che si collochi sulle posizioni proprie del *realismo* potrebbe dissentire da una concezione così minimalista. Le questioni sollevate da Osiander nella sua prefazione sono pertanto tutt'altro che banali, soprattutto tenendo conto che le previsioni, e dunque l'efficacia del modello copernicano, non erano più precise di quelle tolemaiche.

Con la pubblicazione del *De Revolutionibus* si conclude una prima fase del processo di recupero delle conoscenze astronomiche ellenistiche. È estremamente significativo che per effettuare questa operazione Copernico sia stato obbligato a ritornare all'eliocentrismo di Aristarco. Ciò perché in realtà non è possibile fornire una descrizione dei moti dei pianeti perfettamente coerente, in tutte le sue parti, presupponendo che la Terra sia fissa. Non era possibile nel III secolo a.C., non era possibile ai tempi di Copernico. In altri termini, per offrire una descrizione coerente degli enigmatici moti planetari l'eliocentrismo è la scelta obbligata.

www.nostronomics.com

(Continua)

Su Nostromics saranno presenti le successive edizioni con ulteriori capitoli.

www.nostronomics.com

Bibliografia

[1] G. Urton and C. J. Brezine, "Khipu accounting in ancient peru," Aug. 2005. www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/309/5737/1065.

[2] D. Harper, "Online Etymological Dictionary," 2001. http://www.etymonline.com.

[3] A. Gaspani, *Astronomia e geometria delle antiche chiese alpine*. Ivrea: Priuli & Verlucca, 2000.

[4] A. Fairbanks, "Anaximander Fragments and Commentary," 2001. http://history.hanover.edu/texts/presoc/anaximan.htm.

[5] L. Russo, *Flussi e riflussi — Indagine sull'origine di una teoria scientifica*. Milano: Feltrinelli, 2003.

[6] K. Popper, "How the moon might throw some of her light upon the two ways of parmenides.," 1992. http://usm.maine.edu/~bcj/issues/one/popper_text.html.

[7] M. Hoskin, *The Cambridge Concise History of Astronomy — Astronomy in Antiquity*. Cambridge University Press, 1999.

[8] M. Kline, *Storia del pensiero matematico*. Torino: Einaudi, 1972.

[9] L. Russo, *La rivoluzione dimenticata: il pensiero scientifico greco e la scienza moderna*. Feltrinelli Editore, 2001.

[10] L. Canfora, *La biblioteca scomparsa*. Sellerio, 12 ed., 2004.

[11] I. Moreno Gallo, "Roman Surveying," *Proceedings of the European congress "Las obras públicas romanas"*, pp. 25–68, Nov. 2004. Published as "Elementos de ingenieria romana". http://web.archive.org/web/20070205033538/http://traianus.rediris.es/topo01/surveying.pdf.

[12] D. Guedj, *La chioma di Berenice*. Teadue, 2005.

[13] G. Sines and Y. Sakellarakis, "Lenses in antiquity," *American Journal of Archaeology*, pp. 191–196, 1987.

[14] D. Plantzos, "Crystals and Lenses in the Graeco-Roman World," *American Journal of Archaeology*, pp. 451–464, 1997.

[15] F. Charette, "Archaeology: High tech from Ancient Greece," 2006. http://www.nature.com/nature/journal/v444/n7119/full/444551a.html.

[16] Cicerone, "De Natura Deorum II,88." http://www.thelatinlibrary.com/cicero/nd2.shtml#88.

[17] Strabone, "Geographia I,i,8." http://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Strabo/1A*.html#1.8.

[18] G. Magli, "On the possible discovery of precessional effects in ancient astronomy," *Arxiv preprint physics/0407108*, 2004. http://arxiv.org/pdf/physics/0407108.

[19] C. Payne-Gaposchkin, "Review of Hamlet's Mill, by Giorgio de Santillana and Hertha von Dechend," *Journal for the History of Astronomy*, no. 3, pp. 206–211, 1972. http://adsabs.harvard.edu/abs/1972JHA.....3..206P.

[20] R. A. Harris, "Statement at the film preservation study," Feb. 1993. http://www.widescreenmuseum.com/rah.htm.

[21] G. Arnaldi, *L'Italia e i suoi invasori*. Roma–Bari: editori Laterza, 2002.

[22] M. Hoskin and O. Gingerich, *The Cambridge Concise History of Astronomy — Medieval Latin astronomy*. Cambridge University Press, 1999. Edited by Michael Hoskin.

www.nostronomics.com

[23] M. Hoskin and O. Gingerich, *The Cambridge Concise History of Astronomy — Islamic astronomy*. Cambridge University Press, 1999. Edited by Michael Hoskin.

[24] D. O'Leary, "How Greek science passed to the Arabs," 1949. http://www.aina.org/books/hgsptta.pdf.

[25] O. G. Darlington, "Gerbert, the Teacher," *The American Historical Review*, vol. 52, no. 3, pp. 456–476, 1947.

[26] H. Contractus, *De mensura astrolabii; De utilitatibus astrolabi*. http://flaez.ch/hermannus/hastro.html.

[27] A. Bullo, "Sull'Astrario di Giovanni Dondi dall'Orologio Campano da Novara e Dondi Dall'Orologio un binomio inscindibile." http://www.astrofilipadova.it/pagine/campano.html.

[28] D. Alighieri, *Dissertazione intorno all'acqua e alla terra*. Traduzione di Alessandro Torri, 1842. http://it.wikisource.org/wiki/Dissertazione_intorno_all%27acqua_e_alla_terra.

[29] J. de Dondis, "De fluxu et refluxu maris; Cod Ambrosiano N° 334.." Testo disponibile presso http://www.mat.uniroma2.it/~simca/Testi/Dondi.pdf. Traduzione in italiano a cura di Aldo Bullo http://hist.science.online.fr/astrario/tides/TRATTATO_MAREE.pdf. Immagini del Trattato a stampa http://hist.science.online.fr/astrario/tides/Pictures.pdf.

[30] B. Goldstein, "The physical astronomy of Levi ben Gerson," *Perspectives on Science-Historical Philosophical and Social*, vol. 5, no. 1, pp. 1–30, 1997. http://www.pitt.edu/~brg/pdfs/brg_iii_1.pdf.

[31] A. Murschel, "The Structure and Function of Ptolemy's Physical Hypotheses of Planetary Motion," *Journal for the History of Astronomy*, vol. 26, no. 1, pp. 33–62, 1995. http://adsabs.harvard.edu/full/1995JHA...26...33M.

[32] T. S. Kuhn, "The Copernican revolution. Planetary astronomy in the development of western thought," 1957.

[33] E. Forbes, "Mesopotamian and Greek influences on ancient Indian astronomy and on the work of Aryabhata," *Indian Journal of History of Science*, vol. 12, pp. 150–160, 1977. http://www.new.dli.ernet.in/rawdataupload/upload/insa/INSA_1/20005af8_150.pdf.

[34] S. M. Ansari, "Aryabhata I, His Life and His Contributions," *Bulletin of the Astronomical Society of India*, vol. 5, no. 1, pp. 10–18, 1977. http://prints.iiap.res.in/handle/2248/502.

www.nostronomics.com

[35] B. van der Waerden, "The Heliocentric System in Greek, Persian and Hindu Astronomy," *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 500, no. 1 From Deferent to Equant: A Volume of Studies on the History of Science of the Ancient and Medieval Near East in Honor of ES Kennedy, pp. 525–545, 1987. http://www3.interscience.wiley.com/journal/119473911/abstract?CRETRY=1&SRETRY=0.

[36] D. L. Simms, "Archimedes' Weapons of War and Leonardo," *The British Journal for the History of Science*, vol. 21, no. 2, pp. 195–210, 1988.

[37] "The ArchiMITes's steam cannon." http://web.mit.edu/2.009/www/experiments/steamCannon/ArchimedesSteamCannon.html.

[38] A. Reymond, *History of the sciences in Greco-Roman antiquity*. Biblo & Tannen Publishers, 1963.

[39] R. Grossatesta, "De iride." http://www.grosseteste.com.

[40] Strabone, "Geographia II,v,10." http://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Strabo/2E1*.html#p449.

[41] Strabone, "Geographia I,i,12." http://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Strabo/1A*.html#1.12.

[42] P. E. Taviani, *L'avventura di Cristoforo Colombo*. Bologna: Il mulino, 2001.

[43] F. Fernández-Armesto, *Cristoforo Colombo*. Roma–Bari: Laterza, 1992.

[44] R. Nydal, "A critical review of radiocarbon dating of a Norse settlement at L'Anse aux Meadows, Newfoundland, Canada," *Radiocarbon*, vol. 31, no. 3, pp. 976–985, 1989. http://www.uair.arizona.edu/objectviewer?o=http://radiocarbon.library.arizona.edu/Volume31/Number3/azu_radiocarbon_v31_n3_976_985_v.pdf.

[45] O. Gingerich, "Astronomy in the Age of Columbus," *Scientific American*, vol. 267, no. 5, pp. 66–71, 1992.

[46] O. Gingerich, "The Book Nobody Read: Chasing the Revolutions of Nicolaus Copernicus," 2004.

[47] J. Enterline, *Erikson, Eskimos & Columbus: medieval European knowledge of America*. JHU Press, 2002.

[48] J. P. Roux, *Gli esploratori nel Medioevo*. Milano, Garzanti, 1990.

[49] A. Dürst, "Die Weltkarte von Albertin de Virga von 1411 oder 1415," *Cartographica Helvetica*, vol. 13, 1996. http://retro.seals.ch/digbib/view?rid=chl-001:1996:13-14::22&id=&id2=&id3=.

www.nostronomics.com

[50] A. Bremensis, "Gesta Hammaburgensis ecclesiæ pontificum." http://hbar.phys.msu.su/gorm/chrons/bremen.htm.

[51] A. Bremensis, "Historia Norwegiæ." http://www.vsnrweb-publications.org.uk/Text%20Series/Historia%26Passio.pdf.

[52] F. Colombo, *Vita di Cristoforo Colombo*. Londra: Dulau & Co., 1867.

[53] J. Evans, "The Material Culture of Greek Astronomy," *Journal for the History of Astronomy*, vol. 30, no. 3, pp. 237–308, 1999. http://articles.adsabs.harvard.edu/full/1999JHA....30..237E.

[54] N. Copernicus, "De revolutionibus orbium coelestium," *Norimbergae, Apud J. Petreium, 1543; [Bruxelles, Culture et Civilisation, 1966]*, 1966. http://articles.adsabs.harvard.edu//full/1543droc.book....C/0000003.000.html.

www.nostronomics.com