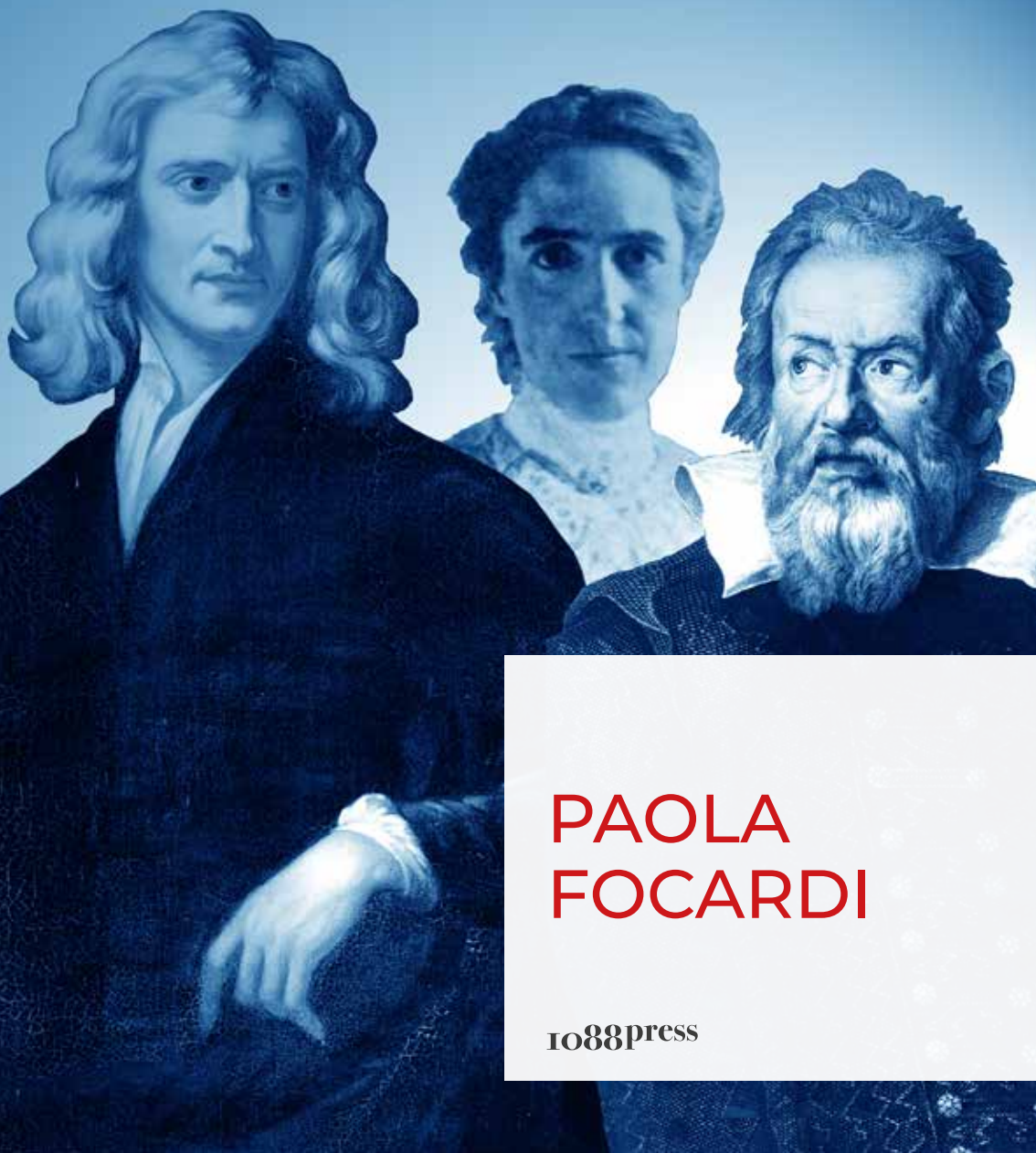


L'UOMO E IL COSMO



PAOLA
FOCARDI

IO88press

PAOLA FOCARDI

L'UOMO E IL COSMO

BREVE VIAGGIO NELLA SCIENZA
CHE CI HA RESI INFINITAMENTE PICCOLI



IO88press



1088press

Alma Mater Studiorum - Università di Bologna
Via Zamboni 33, 40126 Bologna (Italy)

www.1088press.it
www.1088press.unibo.it

ISBN: 978-88-31926-09-6
DOI: 10.12878/1088pressbyte2019_3



I testi sono rilasciati sotto Licenza Creative Commons CC BY-SA 4.0 degli Autori e di 1088press, se non diversamente indicato .
Texts are licensed under the Creative Commons License CC BY-SA 4.0 by the Authors and 1088press, if not credited otherwise .

Immagine di copertina: elaborazione grafica dai ritratti di Isaac Newton, Henrietta Swan Leavitt, Galileo Galilei.

Immagini contenute nel testo:
Figure 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 11: Emanuel Rossetti.
Figure 7, 8, 9, 10, 12, 13 e 14: © come indicato in didascalia.

Progetto grafico di copertina: onde comunicazione

Impaginazione: Design People

Coordinamento redazionale: Mattia Righi (Bononia University Press)

Bononia University Press
Via Ugo Foscolo, 7 – 40123 Bologna
tel.: (+39) 051 232 882
fax: (+39) 051 221 019
www.buonline.com

Prima edizione: dicembre 2019

INDICE

INTRODUZIONE	7
CAPITOLO I L'UOMO E IL CIELO	11
CAPITOLO II LA PERDITA DEL CENTRO	33
CAPITOLO III PADOVA, 7 GENNAIO 1610	57
CAPITOLO IV I TELESCOPI	75
CAPITOLO V LA DISTANZA DELLE STELLE	97
CAPITOLO VI HENRIETTA SWAN LEAVITT	119
CAPITOLO VII LA VERA NATURA DELLE <i>NEBULAE</i>	135
CAPITOLO VIII LA DIFFICOLTÀ DI VIVERE IN UN UNIVERSO TROPPO GRANDE	159
GLOSSARIO	171
BIBLIOGRAFIA	173

INTRODUZIONE

«Maledetto sia Copernico!», così il protagonista di quello che è probabilmente il romanzo più famoso di Luigi Pirandello si rivolge a Don Eligio e quando questi gli fa notare che non è stato l'astronomo polacco a far girare la Terra, in quanto «ha sempre girato», egli replica: «Non è vero. L'uomo non lo sapeva e dunque era come se non girasse!».

L'ultima esclamazione può sembrare assurda e ingenua, ma, al contrario, nasconde una profonda verità: l'impressione che abbiamo dalla Terra è, infatti, proprio quella di essere fermi e, pertanto, risulta spontaneo ritenere che sia il Cielo, con tutti i suoi astri, a muoversi lungo la “volta” con regolarità e che noi uomini, creature coi piedi sulla Terra e lo sguardo rivolto al Cielo, ci troviamo esattamente al centro del Cosmo, parola che in greco, non a caso, significava “ordine”.

La rassicurante presenza di una “incontaminata perfezione” che, ruotandoci attorno, pare volerci proteggere, guidando il nostro cammino terrestre materiale e spirituale, ci ha spinti, fin dai tempi più remoti, a cercare nel Cielo il motivo della nostra esistenza, così come i segni premonitori di accadimenti futuri e l'approvazione delle nostre scelte e azioni, che quell'ordine superiore pareva rivestire di una speciale dignità.

Copernico, però, prosegue Mattia Pascal/Adriano Meis, «ha rovinato l'umanità, irrimediabilmente», poiché ci ha aperto gli occhi sulla «infinita nostra piccolezza». In realtà, il povero Copernico non si macchiò mai di un tale, orribile, misfatto, in quanto il suo modello di Universo era appena un poco più grande di quello

geocentrico di Tolomeo. Il grande passo che compì fu, invece, quello di “toglierci dal centro”. Non sarebbe stato un cambiamento indolore ed egli, consapevole dei rischi che avrebbe corso nello scardinare una convinzione che durava da più di un millennio, fondando le proprie basi su quanto appariva evidente, decise di non dare alle stampe il risultato dei suoi studi che, come è noto, sarebbe venuto alla luce in concomitanza con la sua scomparsa.

La storia ci insegna come la “perdita del centro” sia stata vissuta con difficoltà e osteggiata da molti uomini di Chiesa. Era difficile, se non impossibile, accettare che il Divino Creatore avesse collocato l’Uomo, termine ultimo della creazione, realizzato a Sua immagine e somiglianza, in un luogo che non fosse il centro dell’Universo. Sulle persone comuni, che al centro dell’Universo non si erano mai sentite e che dovevano fronteggiare quotidianamente avversità di carattere pratico, relative alla propria sussistenza, la “rivoluzione copernicana” non ebbe alcun effetto, anche perché, contrariamente a quanto siamo indotti a pensare, fu un processo lento, che si snodò nell’arco di più di un secolo. L’opera di Copernico (il *De revolutionibus orbium coelestium*) rimase per lungo tempo oggetto di analisi e discussione di una cerchia limitata di studiosi e balzò alle cronache solo nel 1616, quando la Chiesa lo incluse nell’*Indice dei libri proibiti* in seguito alla prima denuncia al Sant’Uffizio di Galilei.

Le difficoltà di affermazione del modello copernicano non furono, tuttavia, soltanto di carattere culturale e teologico. La scelta delle orbite circolari non consentiva di riprodurre la posizione osservata dei pianeti con una precisione migliore di quella che si poteva ottenere col modello geocentrico e per questa ragione anche Copernico, analogamente a Tolomeo, si era visto costretto a ricorrere all’artificio di epicicli e deferenti.

Keplero avrebbe compiuto un ulteriore passo in avanti, mostrando che le orbite dei pianeti attorno al Sole non erano circolari, ma ellittiche e Newton, un’ottantina di anni dopo, con la legge di gravitazione universale, ne avrebbe fornito la motivazione fisica.

La prova sperimentale della rotazione della Terra attorno al proprio asse sarebbe stata, invece, ottenuta da Foucault, col celebre esperimento del pendolo, soltanto nel 1851, a 400 anni di distanza dalla pubblicazione dell’opera di Copernico. In quegli stessi anni, una recente innovazione tecnologica, la lastra fotografica,

sarebbe stata applicata all'astronomia. Gli occhi degli astronomi che, metaforicamente, si erano fatti sempre più grandi grazie ai telescopi, con la fotografia sarebbero divenuti ancora più potenti e capaci di catturare le immagini di oggetti sempre più deboli.

Le lastre fotografiche avrebbero confermato che il disegno a spirale, visibile al telescopio solo in alcuni rari casi, è una caratteristica molto frequente delle nebulose, una rivelazione che avrebbe indotto alcuni astronomi ad ipotizzare quanto Immanuel Kant aveva già postulato più di 100 anni prima su basi puramente speculative, ossia che le nebulose a forma di spirale fossero galassie esterne del tutto simili alla nostra, i cosiddetti “universi isola”.

Per provare questa ipotesi ardita, che sarebbe risultata in contrasto con l'opinione scientifica dominante, secondo cui tutte le nebulose dovevano essere parte della nostra galassia, si rivelerà necessario misurare la distanza fra noi e le presunte nebulose esterne. Non sarà un compito facile e la discussione sulla natura delle *nebulae* si protrarrà, in maniera controversa, talmente a lungo nel tempo che occuperà i primi 20 anni del Novecento, divenendo nota come il “Grande Dibattito”. A risolverla definitivamente sarà Edwin Hubble che, servendosi degli studi di Henrietta Leavitt, un'astronoma che non avrà la possibilità di conoscere l'importanza del suo risultato, riuscirà a dimostrare che la galassia di Andromeda è esterna alla nostra. Quel momento segnerà l'inizio della fine per noi uomini, che diverremo sempre più piccoli in un Universo sempre più grande.

È interessante notare che Pirandello scrisse *Il fu Mattia Pascal* proprio nel periodo in cui stava avendo luogo il “Grande Dibattito”. Era a conoscenza della discussione che stava animando la comunità astronomica e ha inconsciamente attribuito a Copernico una colpa che sarebbe stata, di lì a pochi anni, di un astronomo della sua epoca? Oppure si tratta di una curiosa coincidenza? Non lo sapremo mai, ma non possiamo escludere che lo scrittore avesse avuto qualche informazione a riguardo, dal momento che la diffusione delle notizie relative alle scoperte scientifiche era già molto ampia agli inizi del secolo passato e coinvolgeva anche i non addetti ai lavori.

Il Novecento è stato un secolo difficile e tormentato, non soltanto a causa delle due guerre mondiali. Nelle forme artistiche emergono segnali evidenti di un malessere

legato alla frammentazione dell'*Io*, che potrebbe aver trovato parte della sua ragione d'essere nella presa di coscienza dell'«infinita nostra piccolezza».

Il rapporto privilegiato fra Uomo e Cosmo, incrinatosi progressivamente nel corso dei secoli, si è dissolto definitivamente proprio agli inizi del secolo passato, quando siamo stati costretti ad accettare che ci troviamo alla periferia di una galassia anonima, simile a tantissime altre, alla deriva in uno spazio enorme, costituito prevalentemente di vuoto, del tutto indifferente a noi e alla nostra sorte.

CAPITOLO I

L'UOMO E IL CIELO

*Ivi ei fece la terra, il mare, il cielo
E il Sole infaticabile, e la tonda
Luna, e gli astri diversi onde sfavilla
Incoronata la celeste volta,
E le Pleiadi, e l'Iadi, e la stella
D'Orion tempestosa, e la grand'Orsa
Che pur Plaustro si noma. Intorno al Polo
Ella si gira ed Orion riguarda,
Dai lavacri del mar sola divisa.*

(Omero, *Iliade*, XVIII Libro, vv. 671-679)

Da tempo immemorabile, uomini di diverse epoche, regioni e civiltà hanno rivolto lo sguardo verso il cielo, sperando di trovare in quel “mondo” apparentemente perfetto e incontaminato, che sembrava ruotare attorno alla Terra, la ragione e lo scopo della loro esistenza, eventuali presagi relativi al loro destino e una possibile dimora in cui poter riposare, degnamente, dopo la morte.

Terra e Cielo, un dualismo comune alla mitologia di molti popoli dell'antichità,

che volevano comprendere le ragioni per cui gli uomini fossero stati costretti a vivere in un luogo così difficile e ostile, quale il nostro pianeta, e provassero una forte aspirazione a un ritorno o a un'ascesa verso il Cielo.

I Sumeri credevano che la Terra, *Ki*, e il Cielo, *An*, inizialmente uniti per formare un tutt'uno, fossero stati separati da *Enlil*, signore del vento e dello spirito, un dio che loro stessi avevano generato, mentre per gli Egizi la divinità separatrice di *Geb*, la Terra, e *Nut*, il Cielo, era stata il padre, *Shu*. Lievemente diversa è, invece, la visione degli antichi Greci, che vedevano il Cielo come un'emanazione della Terra, creato per avvolgerla e per accogliere le potenze divine, come si può evincere dalla *Teogonia* di Esiodo, un poema in cui l'autore, nato molto probabilmente ad Ascra, in Beozia, fra l'VIII e il VII secolo a.C., racconta la genealogia e la storia degli dei greci, partendo dal *Caos* primordiale fino a raggiungere il momento in cui Zeus riuscì a conquistare il trono dell'Olimpo.

L'importanza del ruolo giocato dal Cielo, attraverso i secoli, su chi avvertiva il forte limite di sentirsi vincolato a vivere sulla Terra, si può trovare tuttora celata nell'etimologia di due verbi, “considerare” e “desiderare”, il cui significato odierno non lascerebbe supporre alcuna origine comune. Nessuno, infatti, penserebbe che l'insieme ponderato di riflessioni da compiersi prima di prendere una decisione o di tentare di risolvere un problema, “considerando” accuratamente tutti i pro e i contro, possa avere a che fare con il bisogno disperato e nostalgico che si avverte forte e incontrollabile nel desiderare qualcuno o qualcosa, se non fosse per quel “siderare” che i due verbi condividono e dietro cui si nascondono proprio le stelle, essendo *sidera* la forma plurale di *sidus*, parola che in latino significa “stella”.

Il verbo “considerare” deriva, in effetti, da *cum sidera*, “con le stelle”, e la ragione di questa origine, che potrebbe apparire strana, dipende dal fatto che nell'antichità le decisioni importanti venivano prese in accordo con le posizioni degli astri nel cielo. “Desiderare” trae origine, invece, da *de sidera*, dove il *de* aveva una funzione sottrattiva ed esprimeva la situazione esattamente contraria, ovvero quella di un cielo che le nubi avevano privato delle stelle, impedendo così agli antichi aruspici di poter trarre, da esse, indicazioni e profezie. Gli indovini e i maghi del passato “desideravano” pertanto ardentemente il ritorno del cielo stellato e di questa loro necessità impellente, che si mescolava alla nostalgia e a un senso di profonda mancanza, rimane traccia evidente nel moto dell'animo che accompagna il nostro

odierno desiderare, da secoli non più rivolto alle stelle, ma che ne ha mantenuta, pressoché invariata, l'antica intensità.

Non stupisce, del resto, che i nostri antenati avessero colto nel cielo un aspetto magico. È la stessa impressione che proviamo anche noi, uomini e donne del XXI secolo, quando, abbandonate le nostre città inondate di luce, che ci hanno privati del meraviglioso spettacolo naturale offerto dal cielo stellato, riusciamo a raggiungere un luogo incontaminato. Immergendoci in quel luccicare di astri, a cui sentiamo di appartenere e a cui vorremmo ritornare, proviamo una sensazione di pace, unita al mistero, che ci fa sentire la piccola parte di un qualcosa di molto più grande.

I nostri antichi progenitori avevano notti più buie e cieli molto più spettacolari, ma non era semplice per loro abbandonarsi alle emozioni: la notte, specialmente quando era particolarmente scura per l'assenza della Luna, li esponeva a ogni genere di insidia, da cui dovevano difendersi. Fortunatamente, a ogni notte seguiva il giorno, dominato dal Sole, e gli uomini ne ricevevano, oltre che la luce, il calore. Lo stesso valeva per gli animali e per i frutti della Terra che, privati del Sole, non avrebbero mai potuto germinare e maturare.

L'assenza del Sole avrebbe provocato una notte fredda e senza fine, la morte per tutti nel giro di poco tempo. Non è un caso, pertanto, che il Sole sia stato identificato con la divinità più importante in molte religioni e che i termini "Dio" e "giorno", mostrino, nel latino *Deus* e *dies*, la stessa radice. *Deus* era infatti proprio la divinità del cielo diurno che, sconfiggendo la notte, con la sua luce, generava il *dies*, ovvero la parte illuminata del giorno. Nella nostra lingua, l'origine comune dei due termini si è persa, poiché la parola "giorno" è derivata dal termine tardo latino *diurnum*, originato, a sua volta, dall'aggettivo *diurnus*, che significava "giornaliero".

Molti popoli del passato temevano che il Sole potesse, una volta tramontato, non sorgere più e, per scongiurare questo pericolo, compivano numerosi sacrifici, giungendo anche a immolare dei loro simili. Il primato di questa triste consuetudine spetta agli Aztechi, che erano spinti da una vera e propria ossessione: erano convinti che il Sole dovesse essere mosso, oltre che sorretto, da una divinità e, per agevolarla in questo difficile compito, le tributavano un'enorme quantità di sacrifici umani. Lo spargimento di tutto quel sangue innocente non aveva però sempre l'effetto sperato, in quanto, essendo gli dei degli Aztechi in lotta perenne fra loro,

poteva accadere che il dio che reggeva il Sole fosse sconfitto da un altro dio, che ne avrebbe preso il ruolo. In tal caso, il Sole sarebbe morto e il dio che lo aveva sorretto avrebbe subito l'umiliazione di precipitare sulla Terra. A ogni morte del Sole sarebbe corrisposta una diversa e nuova era sulla Terra e gli Aztechi erano convinti che se ne fossero già avvicinate cinque.

Talvolta, il Sole diventava nero e, in assenza di una comprensione scientifica del fenomeno (l'eclissi), l'accadimento, oltre a far temere che il Sole potesse scomparire per sempre, era considerato un segno premonitore di eventi nefasti. Esiste un solo caso, riportato da Erodoto di Alicarnasso, storico dell'antica Grecia vissuto nel V secolo a.C., in cui l'eclissi totale di Sole, oltre a non aver avuto alcun effetto negativo, avrebbe addirittura cambiato positivamente il corso degli eventi. Si tratta della battaglia di Halys (antico nome del fiume Kızılırmak dell'attuale Turchia), avvenuta il 28 maggio del 585 a.C. fra i Lidi e i Medi, che erano in guerra tra loro da diversi anni. Quando il giorno si fece improvvisamente notte, i combattenti, convinti che si trattasse di un segnale divino che li esortava a deporre le armi, firmarono un trattato di pace permanente.

In generale, però, l'eclissi totale di Sole incuteva paura e angoscia. Significativa, in questo senso, è la locuzione con cui i Romani indicavano tale fenomeno: *deliquium solis*, quasi a sottolineare il fatto che il Sole potesse liquefarsi, durante l'eclissi, condannando gli abitanti della Terra a un buio perenne.

Dall'altra parte del "mondo", gli Ojibway, una tribù di nativi americani, le cui origini vengono datate intorno all'anno 100 d.C. e che tuttora popolano, in numero di circa 80.000, le riserve di alcuni stati dell'America del Nord e del Canada, credevano che l'eclissi fosse il segnale di esaurimento della "vita" del Sole e così, durante tale evento, lanciavano in cielo delle frecce colorate, con la speranza di riuscire a riaccendere la fiamma della stella.

Al Sole, signore del giorno, si contrappone la Luna, che nel pieno della sua forma è la signora della notte, capace di rischiarare le tenebre col suo candore spettrale. La Luna piena domina, infatti, l'intera notte, sorgendo al tramonto del Sole e tramontando all'alba, perché soltanto quando è opposta al Sole, ossia quando la Terra si trova fra la Luna e il Sole, quest'ultimo può illuminarla completamente.

Il Sole e la Luna piena mostrano nel cielo la stessa dimensione apparente. Si tratta di una curiosa coincidenza, dovuta al fatto che il Sole è circa 400 volte più grande

della Luna, ma anche circa 400 volte più lontano. Questo, oltre a rendere possibile il verificarsi del fenomeno dell'eclissi totale di Sole, ha favorito lo stabilirsi di un dualismo tra il corpo celeste che domina il giorno e quello che gli fa una sorta di eco nella notte. Non è un caso, pertanto, che fin dall'antichità il Sole sia stato associato al principio maschile e la Luna a quello femminile. Molto probabilmente, tale credenza ha trovato sostegno anche nell'analogia temporale fra il periodo della Luna, ossia il numero di giorni (29 e mezzo circa) che intercorrono fra il ripetersi di una stessa fase, e il ciclo femminile.

Esiste, tuttavia, un'eccezione degna di nota riguardante i popoli germanici, che avevano associato al Sole una figura femminile, *Sól*, da cui è derivato, attraverso il latino, il nome che abbiamo attribuito alla nostra stella e alla Luna una figura maschile, *Máni*. Secondo la loro mitologia, *Sól* e *Máni* erano i figli di un gigante, *Mundilfari*, il cui nome, nella loro lingua, significava "Signore del tempo" e gli dei, invidiosi della bellezza dei due fratelli, li avevano rapiti e obbligati a guidare i carri del Sole e della Luna. Inoltre, per fare in modo che non potessero fermarsi mai, avevano posto un lupo all'inseguimento di ciascun carro.

La mutevolezza di forma della Luna, che si accompagna al suo apparire nelle diverse ore del giorno e della notte, ha suscitato la curiosità di molti popoli del passato. Nell'antica Grecia, ad esempio, la sua scomparsa per tre giorni interi, in corrispondenza del novilunio, veniva interpretata come simbolo di morte e resurrezione e associata a *Ecate*, divinità a tre teste di probabile origine indoeuropea, che era ritenuta la custode dei segreti e dei misteri dell'aldilà.

Alla Luna si deve anche la consuetudine di suddividere l'anno in mesi, un legame che rimane tuttora evidente nella radice comune di "Luna" e "mese" nelle lingue germaniche: *Moon* e *month* in inglese, *Mond* e *Monat* in tedesco, *maan* e *mand* in olandese e *månen* e *månad* in svedese, norvegese e danese, tutti termini che rimandano molto chiaramente al mito di *Máni*.

Così come il Sole pareva voler indicare all'uomo l'alternarsi dei periodi da dedicare alla veglia e al sonno, permettendogli di definire il giorno e la notte, la ciclicità delle fasi della Luna sembrava suggerirgli il modo più naturale di raggruppare tra loro i giorni, all'interno dei mesi. Questi ultimi iniziavano generalmente con la prima falce di Luna nuova, ossia il momento in cui la Luna tornava a mostrarsi in cielo prossima al Sole, appena dopo il tramonto. Poiché le fasi lunari si ripetono

con un periodo di circa 29 giorni e mezzo e il mese deve contenere un numero intero di giorni, i calendari lunari, che furono i primi a essere realizzati, alternavano tipicamente un mese da 29 giorni a uno di 30.

Oltre a consentire all'uomo di contare i giorni, sulla base del susseguirsi di luce e buio, e a suggerirgli di raggruppare i giorni in mesi, seguendo il ciclo della Luna, il Cielo sembrava voler dare anche indicazioni utili su come riconoscere le stagioni che si avvicendavano sulla Terra. Ciò era possibile, in virtù del fatto che al movimento diurno del sole e notturno delle stelle attraverso il cielo, dovuto in realtà al moto di rotazione della Terra attorno al proprio asse, si affiancavano, nel corso dell'anno, per effetto del moto di rivoluzione della Terra attorno al Sole, mutamenti nell'aspetto del cielo stellato e nel cammino apparente del Sole, quest'ultimo dovuto all'inclinazione dell'asse della Terra rispetto al piano della sua orbita.

Grazie al Sole si potevano, quindi, distinguere quattro stagioni diverse, i cui limiti erano stabiliti, in analogia a quanto si fa ancora oggi, dagli equinozi e dai solstizi, mentre le stelle consentivano una suddivisione molto più sottile dell'anno. Non era sfuggita, infatti, ai nostri progenitori l'esistenza di una correlazione fra il riapparire in cielo poco prima dell'alba di determinate stelle, dopo un periodo di invisibilità durato poco più di un mese, o il loro tramontare in corrispondenza del sorgere del Sole, dopo essere rimaste visibili per l'intera notte, o anche, infine, il tramontare di alcune stelle immediatamente dopo il Sole, giorno da cui avrebbe avuto inizio il periodo della loro invisibilità, e i momenti più adatti per lo svolgimento di determinate attività agricole. Emblematici, a questo proposito, sono i versi compresi fra il 383 e il 387 del poema, a carattere didascalico, *Le opere e i giorni* di Esiodo, in cui trova spazio la descrizione del collegamento tra fenomeni celesti, agricoltura e navigazione:

Quando le Pleiadi, figlie d'Atlante, si levano in cielo,
tempo è di mietere; quando tramontano, è tempo d'arare.
Esse quaranta giorni rimangono ascose, e quaranta
notti; e di nuovo poi, volgendosi il giro dell'anno,
quando si arrotan le falci, ritornano, e brillano in cielo.

Le Pleiadi costituiscono molto probabilmente il gruppo di stelle più spettacolare e suggestivo dell'emisfero boreale e non possono sfuggire all'attenzione di chi rivol-

ga, anche casualmente, lo sguardo verso il cielo durante le notti d'inverno. Avvolte da una tenue nebulosità diffusa, ricordano per forma il piccolo carro, ovvero le sette stelle più luminose della costellazione dell'Orsa Minore, ma con un'estensione in cielo notevolmente più ridotta.

Esiodo si rifà alla mitologia greca, che vuole le sette stelle più luminose del gruppo, Alcione, Celano, Elettra, Maia, Merope, Asterope e Taigete, come figlie di Atlante (il Titano che Zeus condannò a sorreggere la volta celeste) e di Pleione, un'Oceanina, ovvero una divinità delle acque correnti e dei mari, ma le storie e le leggende legate alle Pleiadi sono molteplici. Non esiste popolo dell'antichità che non sia rimasto affascinato da questo insolito agglomerato di stelle: genti vissute in epoche e località diverse facevano addirittura iniziare l'anno con la "levata eliac" delle Pleiadi, ossia il momento in cui questo gruppetto di stelle ricompariva nel cielo immediatamente prima del Sole, all'alba. A essa si riferisce anche Esiodo, che la indica come il momento giusto per la mietitura. L'azione dell'arare è, invece, per il poeta greco, da collegarsi al "tramonto acronico", ovvero il giorno dell'anno in cui il tramonto delle Pleiadi avveniva contemporaneamente al sorgere del Sole. All'epoca e alla latitudine di Esiodo, questo accadeva intorno al 10 novembre, ma col passare dei secoli la data si sarebbe spostata in avanti, a causa del fenomeno della precessione degli equinozi, dovuto al movimento conico che l'asse della Terra compie in un periodo di tempo di circa 26.000 anni. Per effetto di questo moto, le intersezioni tra i piani in cui giacciono l'orbita della Terra (che in termini tecnici viene detta "eclittica") e l'equatore celeste (prolungamento ideale dell'equatore terrestre), che corrispondono ai cosiddetti punti equinoziali (Fig. 1), si spostano all'indietro andando incontro, per così dire, alla Terra e rendendo l'anno solare, ovvero il tempo impiegato dalla Terra per ritornare nella stessa posizione rispetto al Sole, circa 20 minuti più corto dell'anno siderale (definito come il tempo impiegato dalla Terra per ritornare nella stessa posizione rispetto alle stelle). Il calendario è regolato secondo l'anno solare, così la differenza di 20 minuti si traduce in uno spostamento in avanti (di un giorno ogni 72 anni e di quasi 19 giorni in un millennio) di tutti i fenomeni relativi alle posizioni delle stelle quali, ad esempio, le levate eliache e i tramonti, eliaci e acronici.

In realtà, la questione è molto più complessa, in quanto il cielo stellato varia progressivamente per effetto della regressione dei punti equinoziali e le stelle che

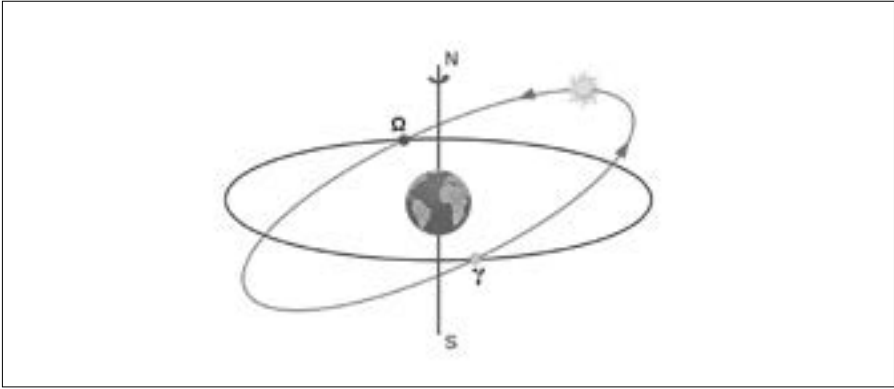


Fig. 1. Visto dalla Terra, il Sole appare muoversi, nel corso dell'anno, lungo l'eclittica nella direzione indicata dalla freccia. Per effetto del moto conico dell'asse terrestre, le intersezioni dell'eclittica con l'equatore celeste, corrispondenti agli equinozi d'autunno (Ω) e di primavera (γ) si muovono in verso opposto a quello del Sole.

non erano visibili in determinati luoghi possono divenirlo nel corso del tempo. La posizione che la Terra occupa nella propria orbita in corrispondenza di una determinata stagione recede, infatti, anno dopo anno e tra 13.000 anni circa sarà esattamente opposta a quella che ha ora. In quell'epoca, quindi, l'inizio dell'inverno nell'emisfero boreale corrisponderà alla posizione orbitale della Terra che attualmente compete all'inizio dell'estate per lo stesso emisfero. Questo significa che l'asse della Terra avrà in quel luogo un'inclinazione diversa da quella che ha adesso e, di conseguenza, le stelle che saranno visibili, allora, dall'emisfero boreale non saranno quelle che si vedono alla nostra epoca in inverno dall'emisfero australe, né quelle che si vedono ora in estate dall'emisfero boreale. Soltanto ogni 26.000 anni circa, le stelle tornano a occupare in cielo la medesima posizione nello stesso giorno e alla stessa ora.

Il cambiamento del cielo stellato, per effetto della precessione, avviene molto lentamente ed è apprezzabile solo su tempi dell'ordine di alcune centinaia di anni. Questi lunghi periodi possono consentire che alcune stelle o costellazioni, ritenute caratteristiche di un determinato emisfero, si rendano visibili anche dall'altro. La Croce del Sud, ad esempio, considerata talmente distintiva dell'emisfero australe da essere stata inclusa nelle bandiere della Nuova Zelanda, dell'Australia e del Brasile, è visibile attualmente, oltre che da tutte le regioni di tale emisfero, anche da

quelle boreali, aventi una latitudine inferiore a 27°, ma ci fu un tempo nel passato, così come ci sarà un tempo nel futuro, in cui la si poteva vedere anche dall'Italia. La Croce scomparve, infatti, stella dopo stella, dai nostri cieli, fra il 900 a.C. e il 300 d.C., mentre dalle regioni di latitudine inferiore, come ad esempio Gerusalemme, sparì gradualmente diversi secoli dopo.

Tornando a Esiodo, il poeta non collega il “tramonto eliac” delle Pleiadi, ossia il giorno in cui queste tramontavano immediatamente dopo il Sole, ad alcun tipo di attività agricola, ma lo cita implicitamente, in quanto esso corrisponde proprio all’inizio del periodo di 40 giorni, in cui il gruppetto di stelle rimaneva «ascoso». Tale scomparsa si deve al fatto che, per effetto del moto di rivoluzione della Terra attorno al Sole, le stelle appaiono spostarsi di circa 1° al giorno, verso ovest (in realtà, è la Terra che si muove lungo la sua orbita, percorrendo all’incirca 1° al giorno nella direzione opposta), e pertanto, quando una stella, o un gruppetto di stelle, tramonta immediatamente dopo il Sole, lo spostamento verso ovest ne provocherà l’invisibilità (causata dalla presenza della luce del Sole), fino al momento in cui, dopo aver “sorpassato” il Sole, la stella, o il gruppetto, riapparirà poco prima dell’alba, in levata eliac.

Il ripetersi, anno dopo anno, delle posizioni di alcune stelle, in corrispondenza dei momenti più propizi per le diverse attività agricole o dei periodi più adatti alla navigazione, rafforzò negli uomini la convinzione dell’esistenza di un ordine superiore che vegliava su di loro, generando come per riflesso l’alternarsi delle stagioni. Ancora ne *Le opere e i giorni* (vv. 663-665) infatti si legge:

Per cinquanta giorni dopo il volger del sole
quando volge alla fine l’estate, faticosa stagione,
è il tempo propizio ai mortali per navigare.

Con l’espressione «il volger del sole», Esiodo vuole indicare il solstizio, ossia il momento a partire da cui il cammino apparente del Sole lungo l’orizzonte cambia di verso. Infatti, al solstizio d’estate (che è proprio quello a cui si riferisce il poeta greco) i punti di levata e tramonto del Sole, raggiunta la posizione più estrema a nord-est e nord-ovest, prendono a muoversi nella direzione opposta fino a giungere, al solstizio d’inverno, nella posizione più estrema a sud-est e sud-ovest, da cui

ricominceranno poi il cammino in senso contrario. Prima di cambiare verso, tuttavia, il Sole deve arrestarsi e questo è proprio il significato del termine “solstizio”, che deriva dal latino *solstitium*, traente origine a sua volta dall'espressione *sol sistere*, ovvero “il sole che si ferma”.

Lo spostamento lungo la linea dell'orizzonte dei punti di levata e tramonto del Sole, a cui corrispondono anche una diversa durata del giorno e della notte e una diversa altezza massima raggiunta dal Sole a mezzogiorno, è osservabile nella quasi totalità delle regioni della Terra e aumenta all'aumentare della latitudine dell'osservatore: cresce pertanto in direzione dei poli e cala avvicinandosi all'equatore, luogo in cui l'escursione è minima e il giorno e la notte hanno all'incirca sempre la stessa uguale durata. In tutte le altre regioni della Terra, a esclusione dei poli, le ore di luce uguagliano quelle di buio solamente due volte all'anno, in corrispondenza degli equinozi, termine quest'ultimo che ha proprio tale significato, poiché deriva dal latino *aequa nox*, ovvero “notte uguale”. Ai poli, il Sole non sorge né tramonta mai, ma si muove lungo un cerchio, la cui altezza muta nel corso dell'anno, raggiungendo i due valori estremi, pari a 23° e 27' sopra o sotto l'orizzonte, in corrispondenza dei solstizi; agli equinozi, invece, l'altezza del Sole è uguale a zero per entrambi i poli e il Sole, pertanto, percorre un cerchio che lambisce i due orizzonti, generando una situazione al limite tra il giorno e la notte.

I solstizi erano considerati eventi molto importanti dai popoli che vivevano nelle regioni di latitudine medio-alta, in cui la variazione fra la durata del giorno e della notte, nel corso dell'anno, era considerevole. Il solstizio d'inverno segnava l'inizio del momento in cui le giornate avrebbero ripreso ad allungarsi dopo un periodo dominato dall'oscurità. Questo “ritorno del sole”, oltre a essere fondamentale per le attività degli uomini, poteva essere letto anche in chiave mistica, in quanto rappresentava la sconfitta operata dal Sole sul mondo delle tenebre. Non è un caso che nell'antico tumulo di Newgrange in Irlanda, risalente al 5000 a.C., il lungo corridoio di accesso alla camera funeraria venga illuminato a ogni alba del solstizio d'inverno per associare, simbolicamente, alla ripresa di vitalità del Sole, il passaggio del defunto a una nuova esistenza ultraterrena. L'alba del solstizio d'estate segnava, invece, l'inizio del giorno più lungo dell'anno, il giorno in cui il Sole raggiungeva il massimo trionfo sulle tenebre. L'evento, tuttora celebrato nei paesi del Nord Europa come la festa di mezz'estate, *Midsummer*, era importantissimo e

la devozione che gli antichi abitanti del nostro continente riservavano al solstizio d'estate trova testimonianza negli innumerevoli complessi megalitici, primo fra tutti quello di Stonehenge, nei pressi di Salisbury, in Inghilterra.

Per chi viveva, invece, nelle regioni comprese tra i tropici e l'equatore, l'evento che appariva più singolare era il giorno in cui i corpi non avevano ombra. Questo strano fenomeno si verifica quando il Sole raggiunge un'altezza sull'orizzonte pari a 90°, venendosi a trovare a mezzogiorno allo *zenit*, ossia esattamente sopra la testa di chi vive in quei luoghi. All'equatore, il Sole raggiunge lo *zenit* due volte l'anno, agli equinozi, mentre ai tropici questo accade una volta l'anno in corrispondenza del relativo solstizio, ossia intorno al 21 giugno per il tropico del Cancro e al 21 dicembre per il tropico del Capricorno. Nelle regioni comprese fra i tropici e l'equatore, il Sole raggiunge lo *zenit* in un giorno, che è tanto più prossimo al solstizio, quanto più il luogo è vicino al tropico e si sposta verso l'equinozio col diminuire del valore assoluto della latitudine.

L'ipotesi che esistesse un ordine superiore, che dal Cielo indicava agli uomini i periodi giusti per svolgere determinate attività, trovava ulteriore sostegno quando la presenza o l'assenza di determinate stelle nel cielo poteva essere associata all'inizio di periodi in cui erano più probabili eventi atmosferici di vitale importanza, come le piogge o l'aridità. È il caso, ad esempio, della stella Sirio, la cui levata eliaca nell'antico Egitto avveniva il 24 giugno in coincidenza con l'inizio della stagione delle piogge nell'Alto Nilo. A essa avrebbero fatto seguito la piena del fiume e il conseguente straripamento. Quest'ultimo era un fenomeno di vitale importanza per la sussistenza di quell'antica civiltà, ma aveva la portata e le conseguenze di una vera e propria catastrofe naturale. Tuttavia, grazie a Sirio, che come un "cane fedele" annunciava l'evento con un anticipo di qualche giorno, gli Egizi riuscivano a organizzare per tempo l'evacuazione delle regioni limitrofe al fiume. Fu proprio questa la ragione per cui gli Egizi vollero rappresentare *Sopdet*, la divinità che avevano associato alla stella Sirio, col geroglifico assegnato al cane e da questa loro scelta è derivato il nome, Cane Maggiore, della costellazione di cui Sirio è la stella più luminosa.

Se per gli Egizi Sirio era una stella benevola e fedele, non altrettanto si può dire dei Greci. Questi erano convinti che la levata eliaca di Sirio, che all'epoca e alla latitudine di Esiodo avveniva intorno alla metà di luglio, portasse con sé il clima caldo e secco dell'estate, come del resto indicato anche dal nome che avevano scelto per

la stella, *Seirios*, e che ci è giunto attraverso il latino *Sīrīus*, che significa proprio “bruciante” o “ardente”.

Oltre a provocare la siccità e a danneggiare i raccolti, le emanazioni deleterie della stella, che venivano associate all'intensità più o meno forte con cui essa sembrava scintillare, erano ritenute dai Greci responsabili dell'indebolimento degli uomini e dell'insorgere di epidemie di rabbia. Erano talmente sicuri di questo legame, che avevano addirittura coniato un termine per indicare la patologia legata alla riapparizione di Sirio nel cielo: *astròbletos*, ovvero “colpito dalla stella”.

In realtà, la povera Sirio non aveva alcuna colpa delle disgrazie che accadevano sulla Terra. Il suo scintillare era semplicemente dovuto al fatto che, essendo luminosissima, poteva risultare brillante anche nel cielo già chiaro dell'alba e i problemi che si scatenavano molto spesso sulle coltivazioni e sugli uomini erano dovuti alla semplice coincidenza temporale fra il suo apparire in cielo in levata eliaca e l'inizio del caldo intenso.

I Greci giunsero persino a convincersi che fosse Sirio a riscaldare il Sole, provocando il clima insopportabilmente afoso dell'estate, e anche i Romani vennero influenzati da questa credenza. Non a caso, in diverse immagini antiche che rappresentano la costellazione del Cane Maggiore, raggi di luce o aloni luminosi, che rimandano al disco solare, circondano la testa del Cane, ossia proprio la zona in cui si trova Sirio.

Possiamo trovare tuttora nel termine “canicola”, con cui siamo soliti indicare giornate caratterizzate da ondate di calore particolarmente intense e insopportabili, la traccia della convinzione che i Romani avevano ereditato dai Greci riguardo a Sirio: *Canicula*, che potremmo tradurre come “la cagnolina”, era, infatti, per loro la stella più luminosa della costellazione del Cane, Sirio, in levata eliaca.

Un altro termine, che rimanda a questa antica credenza, ma il cui uso è molto più limitato, è *siriasis*, una patologia febbrile che colpisce specialmente i bambini che si trovano esposti per lungo tempo all'azione del Sole.

Per prevenire le febbri e le malattie, che credevano provocate dalla riapparizione di Sirio nel cielo, i Romani erano soliti accompagnare la levata eliaca della stella con cerimonie in cui sacrificavano un cane, una pecora e del vino. La cattiva reputazione di Sirio a Roma non si limitava, tuttavia, al suo sorgere eliaco, ma sembrava accompagnare l'intero suo corso apparente attraverso il cielo notturno, originato

per la verità dal moto di rivoluzione della Terra attorno al Sole. I Romani, infatti, avevano associato al tramonto eliaco di Sirio l'insorgere della malattia della ruggine del grano, provocata in realtà da un fungo di colore rossastro dall'effetto devastante, a cui avevano dato il nome di *robigo*, parola che in latino significa proprio "ruggine". Per scongiurare lo scatenarsi del fungo, avevano istituito, in coincidenza col tramonto eliaco di Sirio, la cerimonia dei *Robigalia*, di cui Ovidio, poeta vissuto a cavallo dell'anno zero, fornisce un'accurata descrizione nel IV Libro dei *Fasti*: al termine di una processione di persone tutte vestite di bianco, il sacerdote, detto *flamen quirinalis*, giunto al bosco sacro, sacrificava una cagna e una pecora di due anni a *Robigo*, divinità che col fungo condivideva il nome.

Ritornando alla Grecia, ai versi 30-38 del XXII libro dell'*Iliade* possiamo trovare un'illustrazione drammaticamente efficace della fama nefasta di cui godeva Sirio presso quell'antico popolo:

[...] Primo lo vide
 Precipitoso correre pel campo
 Priamo, e da lungi folgorar, siccome
 L'astro che cane d'Orion s'appella,
 E precorre l'Autunno: scintillanti
 Fra numerose stelle in densa notte
 Manda i suoi raggi; splendissim'astro,
 Ma luttuoso e di cocenti morbi
 Ai miseri mortali apportatore.

Lo scudo di Achille, che brilla come Sirio, astro luminosissimo, ma portatore di lutto per i miseri mortali, è per Priamo, che lo vede da lontano, il terribile presagio della morte del figlio Ettore.

Vi sono luoghi sulla Terra, per la precisione quelli che hanno latitudine inferiore a -73° , e che si trovano pertanto nell'emisfero australe, a 27° di distanza dal polo sud, da cui Sirio non è mai vista sorgere né tramontare, e appare compiere, nel corso della notte, parte di una rotazione attorno al polo celeste meridionale, prolungamento ideale verso il cielo del polo sud terrestre. Per questo motivo, Sirio viene definita, in tali regioni antartiche, "circumpolare".

In realtà, tutte le stelle sembrano ruotare nel cielo, in riflesso del moto della Terra attorno al proprio asse, ma la rotazione attorno a uno dei due poli celesti, che per l'emisfero boreale è, in questa epoca, pressoché coincidente con la posizione della stella polare, risulta chiaramente evidente soltanto per le stelle circumpolari, in quanto esse rimangono sempre sopra l'orizzonte dell'osservatore. Ai poli della Terra, tutte le stelle sono circumpolari; all'equatore, invece, si verifica la situazione opposta, ovvero nessuna stella è circumpolare e tutte le stelle sorgono e tramontano e per questa ragione vengono dette "occidue", termine che deriva dal latino *occiduus*, che a sua volta trae origine dal verbo *occidere*, che significa proprio "tramontare". È interessante notare come dal participio presente di tale verbo sia derivata la parola "occidente", mentre "oriente" ha avuto origine dal participio presente di un altro verbo latino, *orior*, che significa "nascere".

La Figura 2 permette di visualizzare la rotazione giornaliera, apparente, delle stelle nel cielo per un osservatore localizzato al polo nord, all'equatore, oppure in una regione di latitudine intermedia. Per quest'ultimo, una parte delle stelle è circumpolare, mentre l'altra è occidua e la frazione delle prime si fa, progressivamente, sempre più rara al diminuire del valore, assoluto, della latitudine del luogo di osservazione, ossia allontanandosi dai poli verso l'equatore.

I nostri antichi progenitori, che abitavano prevalentemente in regioni più prossime all'equatore che ai poli, videro nella scarsità delle stelle circumpolari, unita alla perfezione del loro moto, così evidentemente circolare, qualcosa di molto speciale che le rese di frequente oggetti celesti degni di una considerazione e di un rispetto particolare.

Oltre alle "stelle fisse", cosiddette perché mantenevano immutate, nel corso dei mesi, le loro posizioni relative, gli uomini notarono fin dai tempi più remoti cinque "stelle mobili". Da molto tempo sappiamo che non si trattava di stelle, ma dei pianeti visibili a occhio nudo, ovvero Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno. Nell'indicarli col nome di "pianeti", conserviamo tuttora, inconsapevolmente, la traccia di quella che fu la loro caratteristica distintiva: i Greci li avevano definiti, infatti, *plānētes astéres*, ossia "stelle vagabonde".

Mercurio è vicinissimo al Sole e risulta pertanto osservabile con enorme difficoltà solo immediatamente prima dell'alba o appena dopo il tramonto. Questo è molto probabilmente il motivo per cui i Sumeri lo avevano chiamato *Udu*, un termine

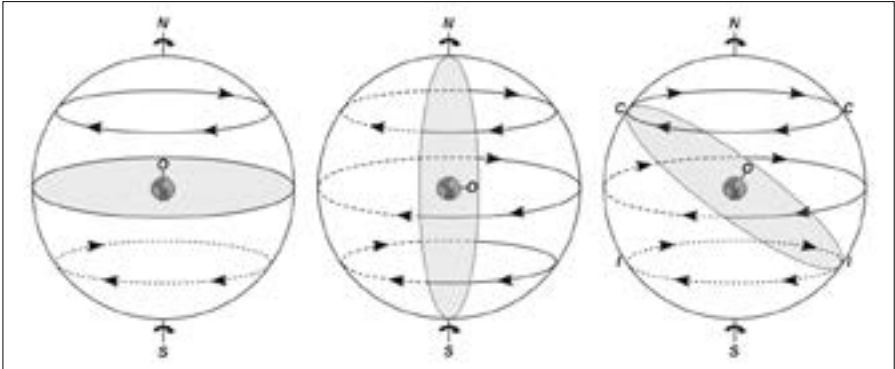


Fig. 2. Il moto giornaliero apparente delle stelle per un osservatore (O) localizzato al polo nord, all'equatore e in una regione di latitudine intermedia ($l=45^\circ$). Il piano in grigio rappresenta l'orizzonte dell'osservatore (le stelle che si trovano sempre sotto di esso non sono mai visibili). Per l'osservatore a latitudine intermedia sono circumpolari solo le stelle che si trovano sopra C, occidue le stelle tra I e C e invisibili le stelle che si trovano sotto I.

che nella loro lingua significava “saltellante” ed esprimeva, molto efficacemente, il modo con cui Mercurio pare spostarsi da una parte all'altra del Sole. Del resto, non a caso, ispirandosi proprio a questo tipo di movimento a balzi, i Greci prima e i Romani poi avrebbero deciso di associare al pianeta la divinità incaricata di portare rapidamente i messaggi degli dei.

Anche Venere si può osservare dalla Terra solamente prima dell'alba o dopo il tramonto del Sole, ma essendo la sua distanza da quest'ultimo quasi doppia rispetto a quella di Mercurio, il pianeta è visibile senza alcuna difficoltà e la sua separazione angolare dal Sole può raggiungere addirittura i 45° . La grande luminosità di Venere, unita al fatto che questa “stella” veniva a trovarsi sempre e soltanto vicina al Sole, l'ha resa, oltre che simbolo di grande bellezza e femminilità per molti popoli antichi, anche estremamente importante dal punto di vista religioso, essendo il Sole spesso identificato con la divinità più importante dei popoli pagani.

Il riflesso di questo culto per Venere ha valicato, inaspettatamente, quegli angusti confini, facendosi strada anche all'interno della nostra religione: ad esempio, nelle litanie lauretane, ovvero le suppliche che si rivolgono a Maria al termine del Rosario, la Madonna viene proprio associata a Venere nel suo apparire in forma di stella del mattino. Del resto, anche il verbo “venerare” e il sostantivo “venerazione”, che

i cattolici riservano generalmente, oltre che a Dio, anche alla Madonna e ai Santi, traggono origine etimologica proprio dal pianeta Venere.

Non fu affatto semplice per gli antichi capire che Vespero e Lucifero, i nomi con cui i Romani indicavano Venere nel suo apparire serale o mattutino e che avevano derivato a loro volta dalle due divinità dell'antica Grecia, *Hesperus* e *Phosphoros*, erano in realtà la stessa "stella". Soltanto due popoli, separati tra loro nello spazio oltre che nel tempo, i Sumeri e i Maya, giunsero a questa corretta conclusione. I Maya, tuttavia, decisero di mantenere la duplicità di aspetto del pianeta nella sua rappresentazione grafica, attraverso la raffigurazione di due sfere distinte appoggiate su una forma che ricorda quella di un serpente, come risulta dal *Codice di Dresda* (il manoscritto Maya più antico e più completo), per associare molto probabilmente alla scomparsa di Venere dopo il tramonto e alla sua ricomparsa prima dell'alba il viaggio compiuto da Kukulcán (il serpente piumato, dio della conoscenza) nel mondo degli Inferi. I Sumeri, invece, diedero al pianeta la forma di una stella singola, ma caratterizzata da otto punte, un numero che appare quanto meno insolito. Il simbolismo, in realtà, voleva fornire un'indicazione ben precisa sul numero di anni che erano necessari affinché Venere tornasse a ritrovarsi nella stessa posizione rispetto al Sole nello stesso giorno. I Sumeri erano degli attentissimi osservatori del cielo e, in quanto tali, avevano misurato il periodo sinodico di Venere, ossia il numero di giorni che sarebbero intercorsi prima che Venere tornasse a essere vista dalla Terra nella stessa posizione rispetto al Sole. Tale periodo, pari a circa 584 giorni, oltre a essere maggiore della durata dell'anno terrestre – 365 giorni circa – non ne costituiva un multiplo intero e, pertanto, il "ritorno" di Venere non poteva cadere nello stesso giorno dell'anno, a meno che non fossero trascorsi cinque periodi sinodici, corrispondenti a 2.920 giorni e a 8 anni solari, essendo 2.920 il minimo comune multiplo di 584 e 365.

Anche i Sumeri, analogamente a quanto avrebbero fatto in seguito i Greci e i Romani, avevano associato a Venere una divinità femminile, *Inanna*, che rappresentava fecondità, bellezza e amore. Talmente importante era per loro *Inanna*, da essere parte di una triade celeste che comprendeva *Nanna*, la falce di Luna crescente, e *Utu*, il Sole, ove quest'ultimo era il figlio dei primi due.

I Babilonesi, che ereditarono la tradizione astronomica sumera, mantennero la simbologia legata al numero otto nella rappresentazione in forma di stella che con-

tinuarono a dare a *Inanna*, divenuta per loro *Ishtar*, e a questa divinità importantissima dedicarono, non a caso, l'ottava porta della città di Babilonia.

A differenza di quanto accadeva per Mercurio e Venere, le altre tre “stelle mobili” erano visibili in qualunque ora della notte. Una di queste, Marte, era caratterizzata da un colore rossastro e per tale ragione venne associata al sangue, al fuoco e più in generale alla guerra. Il nome con cui ci è noto oggi questo pianeta è proprio quello del “dio della guerra” dei Romani, che ancora una volta avevano seguito la tradizione greca secondo cui il pianeta rosso era associato al dio Ares. Gli stessi Greci, del resto, avevano subito l'influenza dei Babilonesi, per i quali Marte era la rappresentazione celeste del dio *Nergal*, divinità del fuoco, della distruzione e della guerra.

Giove è il pianeta più grande e massiccio del Sistema Solare. Escludendo il Sole e la Luna, che sono i corpi celesti più luminosi del cielo, ma hanno forma estesa e non puntiforme come quella delle stelle, Giove è secondo in luminosità soltanto a Venere, che tuttavia è visibile solo al mattino o alla sera. Lo splendore di Giove nel cielo notturno è stato probabilmente la ragione per cui i Greci prima e i Romani poi lo hanno associato alla divinità più potente in assoluto: il capo di tutti gli dei. L'ultimo pianeta visibile a occhio nudo è appena un po' più piccolo di Giove, ma la sua distanza dal Sole è doppia e per questo motivo appare in cielo molto meno luminoso. I Greci vollero associarlo a Crono, padre degenero di Zeus. Crono, tuttavia, era anche il dio del tempo, che consuma progressivamente l'uomo, fino a distruggerlo, e in questo senso il suo aver combattuto con forza e crudeltà l'avvicendamento delle generazioni rimandava al mito dell'Età dell'Oro, in cui gli uomini, inconsapevoli del loro destino mortale, vivevano felici. Anche gli antichi abitanti della penisola italica favoleggiavano dell'Età dell'Oro: un periodo caratterizzato da una perenne primavera, abbondanza di nutrimento e assenza di guerre, in cui gli uomini avevano vissuto insieme agli dei, prima di essere cacciati da questi ultimi. In quell'epoca felice, aveva regnato Saturno, dio dell'agricoltura, e risultò naturale, sotto l'influenza della cultura greca, associare Crono a Saturno, facendo divenire quest'ultimo il padre di Giove. Del mito originale di Saturno rimase traccia nei *Saturnalia*, celebrazioni che duravano una settimana, dal 17 al 23 dicembre, in cui, in ricordo dell'Età dell'Oro, gli schiavi assumevano il ruolo dei padroni e venivano serviti. I *Saturnalia* avevano, tuttavia, anche un aspetto

astronomico, in quanto si concludevano appena dopo il solstizio d'inverno, ossia nel momento in cui il Sole, arrestato il suo cammino lungo l'orizzonte, lo riprende in senso inverso: una rinascita figurata del Sole, che coincideva con un altro mito legato a Saturno, che lo vedeva morire nel giorno del solstizio per rinascere come un "dio bambino" subito dopo.

L'uguaglianza, in numero, fra i corpi celesti dotati di movimento proprio e i giorni che i Babilonesi avevano deciso di raggruppare in settimane, ispirati molto probabilmente dalla durata delle diverse fasi della Luna, pari a 7,4 giorni circa, rese naturale associare a ciascun giorno la divinità da cui avevano preso il nome i sette oggetti celesti. Lo stesso fecero in seguito i Greci e, di conseguenza, i Romani. Per questi ultimi, lunedì era *Lunae dies*, martedì *Martis dies*, mercoledì *Mercuri dies*, giovedì *Iovis dies*, venerdì *Veneris dies*, sabato *Saturni dies* e domenica *Solis dies*. Come si può notare, da questa terminologia sono derivati nella nostra lingua i nomi di tutti i giorni della settimana, a esclusione del sabato e della domenica. In realtà, furono già i Romani a mutare *Saturni dies* in *Sabbātum*, e *Solis dies* in *Domini dies*. La prima variazione si ebbe per effetto dell'influenza che gli ebrei cominciarono ad avere a Roma, a partire dal II secolo a.C.: *Sabbātum* deriva, infatti, proprio dall'ebraico *shabbāt*, che significa "[giorno di] riposo". La seconda avvenne, invece, più tardi, nel 383, per volontà dell'imperatore Teodosio I, che tre anni prima aveva promulgato un editto in cui sanciva che la religione ufficiale dell'Impero dovesse essere quella cristiana.

In conseguenza di questi due mutamenti, avvenuti ancora in epoca romana, tutte le lingue neolatine hanno perso l'associazione del sabato e della domenica con le divinità del mondo classico. Questa si è mantenuta soltanto nell'inglese, con *Saturday* e *Sunday*, e nell'olandese, con *zaterdag* e *zondag*. In tedesco, l'associazione è rimasta solo per la domenica, *Sonntag*, essendo il sabato, *Samstag*, derivato dallo *shabbāt*. Anche nelle lingue scandinave, soltanto la domenica (*søndag* in danese e norvegese, *söndag* in svedese) è rimasta legata al Sole, mentre il sabato (*lördag* in svedese, *lordag* in danese e norvegese) non ha nulla a che vedere con lo *shabbāt* e il suo significato, "giorno del lavaggio", rimanda all'abitudine dei vichinghi di lavarsi una volta la settimana, proprio in quello che alle origini era il giorno dedicato al dio Saturno.

È interessante notare, a questo proposito, che i popoli dell'Europa settentrionale subirono l'influenza romana nell'associazione delle divinità ai giorni della

settimana ma, fatta eccezione per la Luna e per il Sole, utilizzarono i loro dei. Così, a Marte sostituirono il dio Tyr, che di Marte manteneva la caratteristica di essere il dio della guerra, pur essendo anche il dio della giustizia, e martedì divenne nell'inglese arcaico *Tiwesdaeg*, ossia “il giorno di Tiw”, uno dei nomi con cui era chiamato Tyr. Da esso sarebbe derivato, successivamente, *Tuesday*. Anche nelle lingue scandinave, *tirsdag* in danese e norvegese e *tisdag* in svedese, rimane evidente l'associazione a Tyr. Meno diretta parrebbe la relazione col tedesco, *Diensdag*, e l'olandese, *dinsdag*, traducibili in “il giorno dell'assemblea”, se non si fosse a conoscenza del fatto che il dio della giustizia era considerato dai popoli del Nord Europa anche protettore delle assemblee fra gli uomini.

Mercurio, invece, fu sostituito col re degli dei: Wotan o Wodan, nell'antica mitologia tedesca, e Odino in quella norvegese. Mercoledì divenne dunque *Wodnesdaeg*, nell'inglese arcaico, ossia il “giorno di Wodan”, da cui sarebbe derivato *Wednesday*. Il legame col dio Wodan resta evidente anche nell'olandese *woensdag*, mentre lo scandinavo *onsdag* rimanda a Odino, il Wodan dei norvegesi. Di tale relazione si è persa invece ogni traccia nel tedesco *Mittwoch*, che deriva dal più antico *mitta-vebha* e significa “a metà della settimana”, poiché la chiesa tedesca impose questo nome nel tentativo di sradicare il ricordo della divinità pagana.

Giove, per i popoli del Nord, divenne Thor, divinità associata ai fulmini e il giorno di Giove è proprio il giorno di Thor sia nell'inglese, *Thursday*, sia nelle lingue scandinave, *torsdag*. Il nome Thor rimanda, non a caso, alla parola inglese *thunder*, che significa tuono e che in tedesco e in olandese si traduce rispettivamente in *donner* e *donder*, da cui i due termini *Donnerstag* e *donderdag* per questo giorno in tali lingue. Venere, infine, fu sostituita da Frigg, moglie di Odino. La sua associazione al venerdì è rimasta chiara ed evidente in tutte le lingue: *Friday* in inglese, *Freitag* in tedesco, *fredag* nelle lingue scandinave e *vrijdag* in olandese.

I Babilonesi sapevano che il Sole, nel corso dell'anno, si muove da ovest verso est – si tratta di un moto che, in realtà, riflette quello orbitale della Terra – percorrendo all'incirca 1° al giorno e per questo motivo avevano scelto di raggruppare le stelle, che si trovavano lungo l'eclittica, in 12 costellazioni. Ogni costellazione aveva un'estensione prossima ai 30° e quindi, in ciascun mese (della durata di 29 o 30 giorni, dal momento che il loro calendario era lunare), il Sole occupava in cielo una costellazione diversa.

Anche le “stelle mobili” si muovevano lungo l'eclittica, seppure in modo meno regolare, e i Babilonesi pensavano che dalla loro posizione in una determinata costellazione avrebbero potuto trarre indicazioni o presagi sugli avvenimenti in corso o futuri. Nasceva così l'astrologia, che fondava le sue origini sulla convinzione che l'Uomo fosse parte di un disegno divino già prestabilito e che il Cielo potesse contenere traccia della volontà degli dei.

Questo legame fra l'astronomia e il divino, che era caratteristico dei Babilonesi, li indusse a classificare tutte le stelle e le costellazioni, che avevano identificato sulla base dell'altezza massima che potevano raggiungere in cielo, e a suddividerle in tre fasce, associando ciascuna di esse a una delle tre divinità che costituivano la triade cosmica.

Le 33 stelle e costellazioni della fascia più alta appartenevano per i Babilonesi a *Enlil*, la divinità sumera del vento, dell'aria e delle tempeste, che aveva separato la Terra, *Ki*, e il Cielo, *An*, da cui era stato generato, rendendo il mondo abitabile per gli esseri umani; le 23 stelle e costellazioni della fascia intermedia appartenevano, invece, ad *An* che, oltre a rappresentare il cielo, era anche il dio degli spiriti e dei demoni, nonché il giudice supremo; infine le 15 stelle e costellazioni della fascia più bassa erano sotto il dominio di *Ea*, divinità dell'acqua, della saggezza e della magia.

Il ricordo di *Ea* resta tuttora vivo nelle costellazioni dell'Acquario e del Capricorno. La prima, infatti, è derivata dal modo con cui i Babilonesi erano soliti rappresentare la dea, ovvero con due corsi d'acqua che uscivano dalle sue mani, mentre la seconda ha avuto origine direttamente dai simboli di *Ea*, ossia una capra e un pesce.

Le costellazioni babilonesi erano abbastanza simili a quelle che abbiamo ereditato dai Greci, ma non perfettamente coincidenti, sia perché, a causa della diversa latitudine e soprattutto del fenomeno di precessione degli equinozi, il cielo visibile dalla Mesopotamia nel 3000 a.C. era diverso da quello che si poteva vedere dalla Grecia più di 2.000 anni dopo, sia perché ogni popolo ha voluto vedere disegnato in cielo quanto era più corrispondente ai suoi miti. Cefeo e Cassiopea, ad esempio, che sono due importanti costellazioni dell'emisfero boreale e costituiscono l'unico caso di una coppia di coniugi che sono stati collocati l'uno vicino all'altra nel cielo, erano per i Babilonesi la Pantera-Grifone e il Cervo.

La stessa Orsa Maggiore, la costellazione probabilmente più nota, identificata dai diversi popoli vissuti nell'emisfero boreale, non è stata vista da tutti nello stesso modo.

Il mito greco la volle un'orsa, collocata in cielo da Zeus insieme al figlio Arcas che aveva avuto da lei quando, prima di essere stata trasformata in quell'animale, era una bellissima giovane donna, Callisto, che faceva parte della scorta di Artemide, la dea della caccia. Quest'ultima, accortasi che la giovane era in attesa di un figlio, l'aveva mandata via ed Era, la moglie di Zeus, l'aveva trasformata in un'orsa subito dopo il parto. Callisto, a cui Era aveva lasciata inalterata la coscienza di essere umano, aveva dovuto abbandonare il figlio, che sarebbe stato trovato e cresciuto da un cacciatore. Compiuti i 16 anni, Arcas si era imbattuto nell'orsa, che gli si era fatta incontro con la speranza di essere riconosciuta, ma egli, al contrario, temendo di essere aggredito le aveva scagliato contro ben tre frecce, tutte deviate da Zeus, che alla fine si era deciso a scendere dall'Olimpo per raccontare al giovane la verità. Arcas, allora, temendo che la madre potesse essere uccisa da altri cacciatori, aveva deciso che le sarebbe stato sempre accanto per proteggerla. Zeus, commosso da un tale gesto di amore, aveva scelto di metterli nell'unico luogo in cui nessuno avrebbe più potuto separarli: il Cielo. Da quel momento la stella Arturo, che sulla Terra fu Arcas e il cui nome greco, *Arktôuros*, significa "il guardiano dell'orso", si trova prossima alla Grande Orsa e ne è eterna protettrice e custode.

Dal mito dell'Orsa (*árktos* in greco) sono derivati anche i termini "Artide" e "artico", che indicano proprio le regioni in cui la costellazione appare più alta nel cielo. Esiste tuttora una certa confusione fra la costellazione dell'Orsa Maggiore e il Grande Carro, anche se quest'ultimo, in realtà, ne comprende solo una parte, quella più facilmente identificabile, in quanto costituita dalle sette stelle più luminose. È interessante notare che tale ambiguità esisteva già all'epoca in cui fu scritta l'*Iliade*, come si può verificare ai versi 676-677 del XVIII Libro («e la grand'Orsa Che pur Plaustro si noma»), con cui si è aperto il capitolo, che fanno parte della descrizione dello scudo di Achille, forgiato dal dio del fuoco Efesto e contenente una mirabile rappresentazione dell'Universo.

Il Plaustro che, come scrive Omero, è il nome alternativo attribuito alla Grande Orsa, è proprio il carro agricolo, utilizzato per trasportare carichi pesanti e trascinato dai buoi.

Molto suggestivo è infine il riferimento alla circumpolarità della costellazione, che si trova nei due versi che concludono la descrizione.

I primi a identificare la forma di un carro nelle sette stelle più luminose dell'Orsa Maggiore furono molto probabilmente i Sumeri, in quanto nel *MUL.APIN*, il più antico testo mesopotamico di carattere astronomico-astrologico, questa costellazione, appartenente a *Enlil*, viene indicata col termine sumerico *MAR.GÍD.DA*, che significa proprio “il Carro”.

Le popolazioni nomadi dell'Arabia, invece, nelle stelle che formano il quadrilatero scorsero una bara e nelle tre stelle che si staccano da esso, in una sorta di fila non allineata, le tre figlie piangenti del defunto, probabilmente influenzate sia dalla forma, sia dal fatto che questo gruppo di stelle ruota lentamente nel corso della notte attorno a un punto, il polo nord celeste (citato anche nel verso 677 del XVIII Libro dell'*Iliade*), in modo simile a un triste corteo funerario.

In questo incedere lento, che pare persino un po' sofferto, è anche l'origine della parola “settentrione”, poiché i Romani assimilarono le sette stelle più luminose dell'Orsa Maggiore a sette buoi, *septem triones*, che trascinavano dietro di sé un carro, compiendo un percorso circolare.

I popoli dell'Europa settentrionale videro nel Grande Carro la forma di una padella o di un cucchiaio, associazione di cui rimane traccia nel termine *big dipper*, ovvero “grande mestolo”, con cui gli inglesi sono soliti indicare tuttora le sette stelle più luminose dell'Orsa Maggiore.

Nella costellazione dell'Orsa Maggiore, gli Egizi videro invece un toro seguito da un uomo, i Celti un cinghiale, i Navajo (nativi americani stanziati prevalentemente nel nord-est dell'Arizona e costituenti il gruppo etnico più numeroso di 300.000 persone circa) scorgono la forma di un uomo che danza e gli Inuit (che vivono nelle regioni artiche del Canada, della Groenlandia e degli Stati Uniti d'America) quella di una renna.

Questa enorme varietà d'interpretazione non stupisce, anzi, dimostra ancora una volta come gli uomini abbiano sempre voluto scorgere nel Cielo il riflesso, in forma pura e incontaminata, di quanto vedevano accadere sulla Terra. Il Cielo, seppure lontano e irraggiungibile, sembrava voler indicare agli esseri mortali la via che avrebbero dovuto seguire, guidati attraverso i secoli dalla speranza di poter essere un giorno parte di quella divina pace e bellezza.

CAPITOLO II

LA PERDITA DEL CENTRO

Non v'è dimostrazione scientifica per ammettere quel che alcuni favoleggiano sull'esistenza degli antipodi, cioè che uomini calcano le piante dei piedi in senso inverso ai nostri dall'altra parte della Terra dove il Sole sorge quando da noi tramonta. Non affermano infatti di averlo appreso in seguito a una esperienza storicamente verificatasi, ma prospettano col ragionamento un'ipotesi perché la Terra sarebbe sospesa nella volta del cielo e avrebbe lo stesso spazio in basso e al centro. Suppongono perciò che l'altra faccia della Terra, quella di sotto, non può esser priva di abitanti [...]. D'altronde è troppo assurda l'affermazione che alcuni uomini, attraversata l'immensità dell'Oceano, poterono navigare e giungere da questa all'altra parte della Terra in modo che anche là si stabilisse la specie umana dall'unico progenitore.

(Agostino, *De Civitate Dei*, Libro XVI)

Era molto difficile, se non impossibile, concepire un Universo il cui centro non fosse la Terra. Il Sole, le stelle e i pianeti sembravano ruotare attorno a noi e appariva molto più logico pensare che il giorno e la notte si alternassero perché il Sole, scendendo sotto l'orizzonte, andava a illuminare quella parte del nostro



PAROLE CHIAVE

Terra / Sole / Plànètes astéres

pianeta che, a detta degli uomini di Chiesa, non poteva assolutamente essere abitata, anziché ipotizzare che il fenomeno fosse dovuto alla rotazione della Terra attorno al proprio asse.

Al ben noto problema degli antipodi, che rendeva impossibile, alla maggioranza degli studiosi, sostenere che potessero esistere degli esseri costretti a trascorrere la propria vita con la testa all'ingiù, si era affiancata, a seguito dell'affermarsi del pensiero cristiano, una questione di carattere teologico: per i Padri della Chiesa era del tutto inaccettabile l'idea che una parte dell'umanità, per la quale si supponeva la stessa origine, "adamitica", fosse stata destinata a una parte del pianeta così inaccessibile da escluderla, per forza di cose, dalla predicazione della Buona Novella.

Contrariamente a quello che si potrebbe pensare, infatti, pochissimi avevano messo in dubbio l'ipotesi che la Terra fosse una sfera immobile collocata al centro dell'Universo, mentre quasi tutti avevano dubitato seriamente dell'esistenza degli antipodi: esseri che, come dice il termine stesso, avrebbero dovuto avere i piedi "contro i nostri" e risultava incomprensibile come riuscissero a rimanere attaccati alla Terra, invece di precipitare verso il basso.

Lucrezio, illustre poeta e filosofo romano vissuto nel I secolo a.C., aveva trovato talmente assurda l'idea che potessero esistere creature di quel tipo da vedersi costretto addirittura a rigettare nel *De Rerum Natura* l'ipotesi della sfericità della Terra. Così egli, infatti, nel Libro I della sua opera (ai vv. 1060-1064), ironizza nei confronti di coloro che sostengono l'esistenza di "possibili" esseri che, per qualche ragione che gli pare inaccettabile, non cadono verso il cielo:

Et simili ratione animalia suppa vagari
 contendunt neque posse e terris in loca caeli
 recidere inferiora magis quam corpora nostra
 sponte sua possint in caeli templa volare.¹

All'incirca un centinaio di anni dopo la stesura del *De Rerum Natura*, Plinio il Vecchio, scrittore, naturalista e politico, in quello che viene considerato a ragione il suo capolavoro, la *Naturalis Historia*, una vera e propria enciclopedia costituita da 37 Libri, avrebbe affermato che, nonostante tutti fossero convinti che la Terra avesse forma sferica, molti si chiedevano come fosse possibile che gli

oceani avessero una superficie curva e la disputa sulla natura degli antipodi era ancora molto accesa.

Il punto di vista cristiano su questa questione è espresso molto chiaramente da sant'Agostino, teologo e dottore della Chiesa, nonché vescovo di Ippona, vissuto fra il 354 e il 430, nel Libro XVI del *De Civitate Dei* (riportato all'inizio di questo capitolo): la Terra è una sfera, ma nella parte opposta alla nostra deve assolutamente essere priva di abitanti. Impossibile per lui immaginare che gli uomini abbiano potuto «attraversare l'immensità dell'Oceano», oltrepassando le Colonne d'Ercole e abbandonando quello che tutti consideravano l'unico "mondo" per spingersi verso l'ignoto.

Dalla parte opposta del "mondo", che all'epoca di sant'Agostino era già piuttosto grande e comprendeva, oltre all'Europa, anche una discreta parte dell'Africa e quasi la totalità dell'Asia, non poteva esserci null'altro che acqua e buio, quando qui era luce e viceversa. Tutto lasciava supporre che così fosse.

Incredibilmente, però, già nel lontano passato, una manciata di studiosi aveva intuito che la realtà potesse essere diversa da quanto appariva: due filosofi della scuola di Pitagora, Iceta ed Efanto, vissuti a Siracusa 800 anni prima di sant'Agostino, avevano, infatti, sostenuto che il movimento diurno del sole e notturno delle stelle fosse dovuto alla rotazione terrestre attorno al proprio asse. Della stessa opinione era stato anche un loro contemporaneo, Eraclide Pontico, ritenuto da diversi studiosi un allievo di Platone.

Tuttavia, né Eraclide, né i due filosofi pitagorici avevano ipotizzato che, oltre a ruotare attorno al proprio asse, la Terra potesse compiere anche un moto di rivoluzione attorno al Sole. Chi lo avrebbe proposto, alcune decine di anni dopo, precorrendo coraggiosamente i tempi di diversi secoli, sarebbe stato Aristarco, nato e vissuto fra il 310 e il 230 a.C. a Samo, l'isola che quasi 300 anni prima aveva dato i natali a Pitagora.

Oltre a sostenere che la Terra ruotava attorno al proprio asse, Aristarco aveva compreso che era proprio l'inclinazione di quest'ultimo, rispetto alla perpendicolare al piano dell'orbita, unita al moto di rivoluzione della Terra attorno al Sole, a dare origine alle stagioni.

Nell'Universo di Aristarco, oltre alla Terra, si muovevano su orbite circolari attorno al Sole anche i pianeti e gli unici punti fermi erano il Sole e le stelle, i cui moti

diurno e notturno erano semplicemente il riflesso del moto di rotazione della Terra attorno al proprio asse. Ed è proprio in relazione alle stelle che i suoi contemporanei gli avevano mosso la grande obiezione, la stessa che sarebbe stata posta ai sostenitori del sistema eliocentrico per molti secoli a venire: se era la Terra a orbitare attorno al Sole, perché non se ne vedeva il “riflesso” nel moto annuale delle stelle? In altre parole, per quale ragione le stelle non descrivevano nel cielo, per effetto del moto orbitale terrestre, delle circonferenze (Fig. 3), il cui diametro apparente sarebbe stato tanto più ampio quanto più esse erano vicine alla Terra?

A tale quesito, che evidenziava la mancanza della prova sperimentale capace di fugare ogni dubbio e decretare la validità del suo modello, Aristarco aveva risposto correttamente, ma incapace di poterlo provare in alcun modo, che le stelle erano troppo lontane perché se ne potesse apprezzare lo spostamento prodotto dal moto di rivoluzione della Terra.

L'opinione corrente, tuttavia, riteneva che le stelle non fossero tanto più lontane di Saturno e che la mancanza di osservazione di uno spostamento, che avrebbe dovuto essere visibile senza alcuna difficoltà, fosse la prova dell'assurdità del modello eliocentrico. Soltanto uno scienziato babilonese, vissuto nel II secolo a.C., Seleuco di Seleucia, avrebbe sostenuto il sistema eliocentrico di Aristarco. Così, almeno, riferisce Plutarco, biografo, poeta e sacerdote greco, vissuto a cavallo del I secolo d.C., nelle *Platonicae quaestiones*. Un'affermazione che, secondo lo studioso tedesco del pensiero greco, Hermann Diels, vissuto nel XIX secolo, sarebbe stata confermata anche da un filosofo contemporaneo di Plutarco, Aezio, di cui si sa, peraltro, pochissimo. Nella sua opera, *Doxographi graeci*, Diels afferma che Aezio avrebbe attribuito a Seleuco, oltre che il sostegno del modello di Aristarco, anche l'ipotesi, arditissima per l'epoca, ma che si sarebbe rivelata corretta molti secoli dopo, secondo cui le maree sulla Terra erano dovute all'azione combinata del moto della Terra e della Luna.

L'ipotesi eliocentrica di Aristarco era troppo rivoluzionaria per il suo tempo e infatti non riuscì nemmeno a scalfire la credibilità del modello, che riscuoteva la totalità dei consensi ed era stato sviluppato da Eudosso, matematico e astronomo, nato circa 100 anni prima di lui a Cnido, città greca dell'antica regione della Caria, situata sulla fascia costiera dell'attuale Turchia.

Gli scritti originali di Eudosso sono andati perduti ed è soltanto grazie a quanto

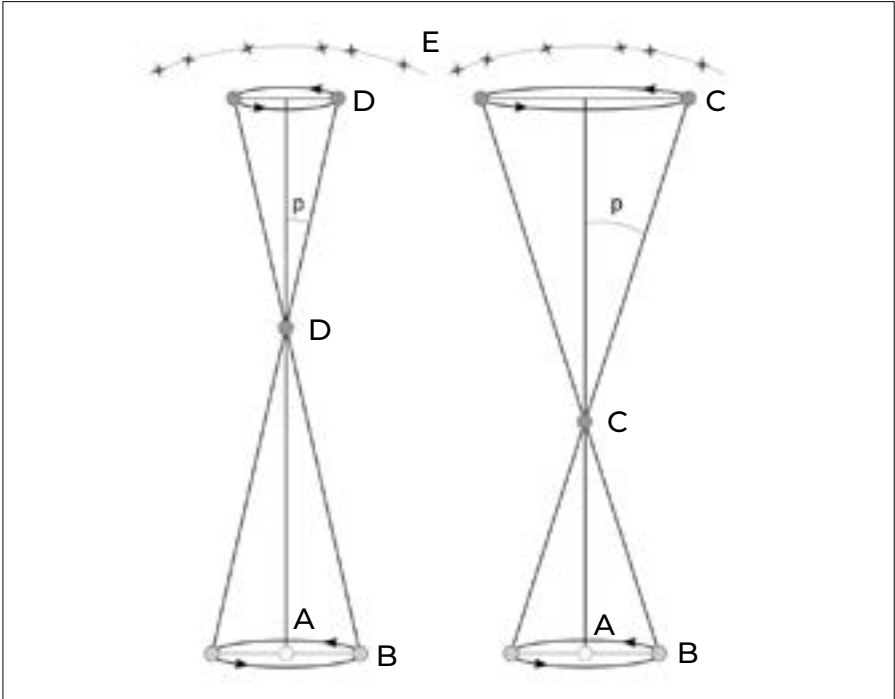


Fig. 3. Il moto annuale apparente nel cielo di due stelle (D e C) aventi diversa distanza dal Sole (A). La Terra (B) orbita attorno al Sole (A) e tale movimento si riflette nelle stelle in modo tanto più ampio (maggiore per C che per D) quanto più queste sono vicine al sistema Terra-Sole. Le stelle più lontane (E) appaiono, invece, ferme. L'angolo p , indicato nella figura corrisponde a metà dello spostamento angolare totale (mostrato dalle stelle D e C) e, in termini tecnici, è detto "parallasse annuale". La figura non è in scala: l'angolo p in realtà è estremamente piccolo.

riportato da Aristotele (che lo aveva avuto come maestro all'Accademia di Atene) nella *Metaphysica*, e da Simplicio, 900 anni dopo, nel commento al *De Caelo* di Aristotele, che si possono avere delle informazioni sul modello di Eudosso. Simplicio si spinge addirittura ad affermare che Eudosso l'avrebbe realizzato per soddisfare una richiesta che Platone, il suo maestro, aveva posto ai filosofi, preoccupato dall'impossibilità di conciliare i movimenti, che talvolta caratterizzavano i pianeti, col moto circolare mostrato dalle stelle nel corso della notte.

I movimenti che turbavano il sommo filosofo dall'antica Grecia erano quelli "retrogradi" dei pianeti che, di tanto in tanto, apparivano invertire il consueto moto

annuale, da ovest verso est, caratteristico anche del Sole (che in realtà riflette il moto orbitale della Terra), per iniziare a dirigersi in verso opposto. Platone chiedeva, pertanto, se e come fosse possibile che un moto perfetto e ordinatore, quindi circolare, quale era quello notturno delle stelle, potesse dare origine al disordine riscontrato nei movimenti dei pianeti.

Il “miracolo” compiuto mirabilmente da Eudosso fu quello di assegnare a ciascun pianeta una serie di sfere, tra loro concentriche, che ruotavano di moto circolare uniforme ciascuna attorno a un asse, avente una propria inclinazione e vincolato alla sfera di raggio immediatamente superiore. In questo modo, il movimento del pianeta, che si trovava fissato all'equatore della sfera più interna, visto dalla Terra, sarebbe derivato dalla combinazione dei moti di tutte le sfere.

Il sistema di Eudosso, geniale per quanto riguarda la realizzazione, ma del tutto privo di un fondamento che potesse giustificare i valori dei raggi assegnati alle sfere, le loro velocità di rotazione e le inclinazioni dei loro assi, prevedeva quattro sfere per Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno, tre sfere per il Sole e per la Luna e una sola sfera per le stelle fisse, il cui moto, del resto, era quello più semplice da riprodurre. Grazie a questo complesso sistema, fondato su ben 27 sfere, egli era riuscito a riprodurre discretamente bene, considerando anche i limiti di precisione delle osservazioni dell'epoca, soltanto i movimenti retrogradi di Giove e Saturno. Nel tentativo di migliorare l'accordo con le osservazioni, Callippo di Cizico, allievo di un allievo di Eudosso, aggiunse una sfera a Marte, Venere, Mercurio e alla Luna e due sfere al Sole. La sfera ulteriore per la Luna ne avrebbe dovuto riprodurre la variazione di velocità osservata che, come sappiamo oggi, è dovuta alla complessa interazione gravitazionale della Terra, del Sole e della Luna, mentre le due sfere aggiuntive per il Sole avrebbero dovuto riprodurre la diversa velocità orbitale annua apparente del Sole attorno alla Terra, per effetto della quale le stagioni hanno una durata diversa. La ragione di questa differenza è nota ormai da alcuni secoli e si deve al fatto che l'orbita della Terra attorno al Sole non è un cerchio, ma un'ellisse, il Sole non è al centro, ma in un fuoco di questa ellisse e la Terra si muove tanto più rapidamente quanto più è vicina al Sole: è più veloce, quindi, al perielio che all'afelio. Una velocità maggiore si traduce in un minor tempo di percorrenza e, poiché il periodo freddo per l'emisfero boreale corrisponde a una posizione della Terra più prossima al Sole di quanto sia per il periodo caldo, la stagione fredda,

comprendente autunno e inverno, è più breve di circa sette giorni di quella calda, costituita da primavera ed estate. La situazione è inversa per l'emisfero australe.

Purtroppo, nonostante l'incremento da 27 a 33 del numero delle sfere, la modifica operata da Callippo non portò a ottenere alcun miglioramento significativo.

A noi, che conosciamo da molto tempo la realtà dei fatti, il sistema ideato da Eudosso risulta, oltre che artificioso, talmente assurdo che faticiamo anche a comprenderne la ragione. Quale motivo poteva aver indotto Platone a desiderare tanto ardentemente che si potesse dimostrare che gli "evidenti movimenti" dei *plānētes astéres* derivavano da una combinazione di moti di sfere?

La sfera è indubbiamente il solido su cui ricadrebbe la scelta di chiunque volesse rappresentare geometricamente la perfezione. Non a caso, Parmenide, filosofo greco, vissuto circa un secolo prima di Eudosso, l'aveva identificata proprio con "l'essere" e Pitagora, contemporaneo di Parmenide, aveva nutrito una considerazione particolare per la sfera, in cui aveva colto l'armonia dell'ordine celeste, che si esemplificava attraverso il moto apparente notturno delle stelle. A tale proposito, è ancora Hermann Diels, nella *Doxographi Graeci*, ad attribuire ad Aezio l'affermazione che sarebbe stato proprio Pitagora a utilizzare per primo il termine *Kósmos*, parola che significava "ordine", per indicare la sfera celeste, ossia la sfera immaginaria, di raggio indefinito, centrata sulla Terra sulla cui superficie appaiono proiettati tutti gli astri.

Il Cielo quindi, perfetto, puro e irraggiungibile dagli uomini, aveva avuto dalla divinità creatrice, il Demiurgo (seguendo Platone nel *Timeo*), una forma sferica, come appariva dal movimento ordinato delle stelle durante la notte e per questo motivo il sommo filosofo greco non riusciva a immaginare un moto celeste che potesse essere diverso da quello circolare uniforme e desiderava che gli "evidenti movimenti" dei pianeti dovessero essere ricondotti a un movimento di quel tipo: il loro disordine apparente doveva risultare, per forza di cose, dalla combinazione di moti circolari uniformi, che potevano avvenire soltanto lungo le sfere.

Aristotele che, per una serie di vicissitudini della storia, sarebbe risultato l'allievo più famoso di Platone, diede nel *De Caelo*, opera che scrisse intorno al 350 a.C., quella che ritenne la giustificazione fisica al moto delle innumerevoli sfere del sistema di Eudosso e di Callippo: era proprio l'ultima sfera, la più esterna e la più perfetta, quella delle "stelle fisse", a essere in movimento e il suo moto veniva

trasmesso via via verso l'interno a tutte le altre sfere. Per evitare, tuttavia, che la rotazione circolare e uniforme delle stelle lasciasse traccia di sé nel movimento osservato di ciascun pianeta, Aristotele doveva in qualche modo neutralizzarne l'effetto e così si era visto costretto ad aggiungere delle ulteriori sfere al modello di Eudosso e Callippo, portandole a un numero totale pari a 55, come afferma egli stesso nella *Metaphysica*.

Il “filosofo della natura” non parve nutrire alcun dubbio in relazione alla plausibilità di un modello così complicato e poco razionale – qual era il senso di un moto che doveva essere trasmesso e poi annullato? – né, tanto meno, della sostenibilità del suo modello in termini energetici: se un movimento veniva trasmesso e poi annullato, da dove si originavano tutti gli altri moti?

Il ragionamento lo aveva indotto a postulare, in accordo col suo maestro Platone, che l'Universo e i corpi celesti fossero costituiti da un elemento, “l'etere”, eterno, incorruttibile e privo di peso, a cui poteva competere soltanto il moto circolare uniforme. Gli altri quattro elementi, terra, acqua, aria e fuoco, che erano già patrimonio della tradizione pre-socratica, invece, popolavano la Terra e il mondo sublunare e si muovevano secondo traiettorie rettilinee, in direzione del loro luogo naturale.

Ad Aristotele mancava il concetto di forza e quindi era la natura stessa dei quattro elementi, la *gravitas*, maggiore per la terra che per l'acqua, e la *levitas*, minore per l'aria che per il fuoco, a indurli a muoversi verso il basso o verso l'alto. In questo modo, era riuscito a dar ragione sia del fatto che sulla Terra si trovavano i due elementi più pesanti, mentre i più leggeri stavano sopra di essa, sia dell'ordine con cui riteneva che gli elementi si disponessero nei loro luoghi naturali: la terra sotto l'acqua e il fuoco sopra l'aria.

Inoltre, era riuscito a liberarsi di un problema che aveva afflitto generazioni di studiosi dell'antichità e innumerevoli filosofi greci e riguardava il “sostegno” della Terra. Non era più necessario farla galleggiare sull'acqua, come aveva ipotizzato 300 anni prima Talete di Mileto, né sull'aria, come aveva sostenuto Anassimene, discepolo di Talete. La Terra, di forma sferica, era collocata esattamente al centro del *Kósmos*, la sfera dell'Universo, e non avrebbe potuto essere altrimenti, in quanto in qualunque altro luogo non sarebbe stata stabile. Oggi esprimeremmo questo concetto affermando che la Terra era per Aristotele nella “buca di potenziale”

dell'Universo, ossia nel luogo in cui, se fosse stata spostata di poco, sarebbe andata naturalmente a ricadere: l'equidistanza da ogni "punto" della sfera dell'Universo era proprio la causa della sua stabilità.

Il ragionamento del filosofo greco non si arrestava qui, ma riusciva a fornire anche una motivazione per la forma della Terra: non esisteva, infatti, alcuna possibilità per l'elemento terra, attratto verso il suo luogo naturale, di distribuirsi in modo irregolare. Nonostante gli fosse sconosciuto il concetto di forza, quello che Aristotele era riuscito a esprimere col solo ausilio del suo ragionamento era proprio l'effetto che una forza centrale, ossia diretta come la congiungente tra il punto di applicazione e il centro (quale è la gravità), produce, generando corpi dotati di simmetria sferica.

Il modello di Aristotele continuava, evidentemente, a mostrare gli stessi problemi di cui aveva sofferto quello di Eudosso e Callippo, ovvero l'incapacità di riuscire a riprodurre, attraverso le combinazioni di moti circolari uniformi, i complessi movimenti mostrati dai pianeti.

Nel tentativo di migliorare l'accordo con le osservazioni, Apollonio di Perga, astronomo e matematico greco (di cui si sa pochissimo, se non che visse a cavallo fra il III e il II secolo a.C. in una cittadina situata in quella che oggi è la parte meridionale della Turchia e che si deve a lui la definizione delle coniche), decise di dotare ciascun pianeta di due circonferenze di raggio diverso. Sulla più piccola, che chiamò "epiciclo", o meglio *epi-kyklos*, ovvero cerchio – *kyklos* – che sta sopra – *epi* – collocò il pianeta e poi fece ruotare il centro dell'epiciclo lungo la circonferenza di raggio maggiore, a cui diede il nome di "deferente". Entrambi i moti erano di tipo circolare uniforme e la loro combinazione riusciva a riprodurre i movimenti retrogradi dei pianeti (Fig. 4) con una precisione paragonabile a quella ottenuta col modello di Eudosso e Callippo. L'introduzione degli epicicli, tuttavia, aveva avuto un vantaggio non piccolo: muovendosi lungo di essi, i pianeti si avvicinavano e si allontanavano dalla Terra e questa variazione della distanza, non contemplata dal modello di Eudosso e Callippo, riusciva a dar ragione della variazione di luminosità osservata, perché a una minore distanza dalla Terra corrispondeva una maggiore luminosità del pianeta e viceversa. In realtà, come avrebbe mostrato Copernico, la variazione di luminosità si deve al fatto che, per effetto dei moti di rivoluzione della Terra e dei pianeti attorno al Sole, la distanza tra la Terra e i pianeti non è costante.

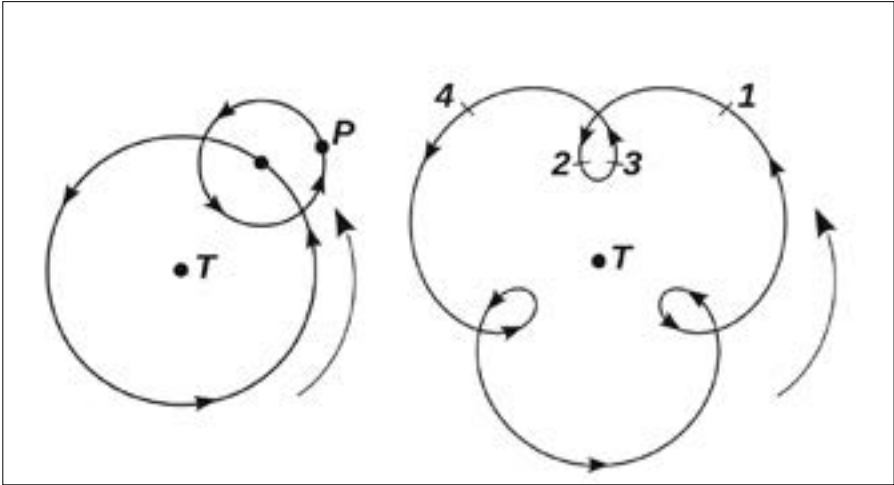


Fig. 4. La riproduzione dei moti retrogradi dei pianeti (a destra) attraverso il modello di Apollonio di Perga (a sinistra). Scegliendo opportunamente la velocità di rotazione, del pianeta P, lungo l'epiciclo e le dimensioni di quest'ultimo era possibile ottenere un discreto accordo con le osservazioni.

Ipparco di Nicea, matematico, geografo e astronomo greco, vissuto all'incirca un secolo dopo Apollonio, famoso per aver scoperto (dal confronto tra le posizioni delle stelle in cielo da lui osservate e quelle registrate dagli astronomi babilonesi alcune centinaia di anni prima) il fenomeno della precessione degli equinozi, decise di introdurre un artificio nel modello di Apollonio con l'obiettivo di riuscire a riprodurre la variazione di velocità angolare della Luna, del Sole e dei pianeti, osservata nel corso dell'anno, che la combinazione di moti circolari, di cui uno, quello sul deferente, centrato sulla Terra, non poteva rappresentare. L'idea di Ipparco fu di spostare il centro del deferente dalla Terra a un altro punto, *l'eccentrico*, in modo che il moto circolare uniforme del centro dell'epiciclo sul deferente non risultasse più tale, se visto dalla Terra.

Claudio Tolomeo, astronomo, oltre che astrologo e geografo greco, vissuto circa 300 anni dopo Ipparco, in quella straordinaria fucina culturale che fu Alessandria d'Egitto, all'epoca in cui quest'ultima era già parte dell'Impero Romano, migliorò la precisione del modello di Ipparco, sostituendo all'eccentrico *l'equante*. In questo nuovo modello, che egli descrisse accuratamente in un'opera monumentale, che

portava il titolo di *Mathematikè syntaxis*, ovvero *Trattato matematico*, il centro del deferente non coincideva né con la Terra, né con l'eccentrico, ma si trovava in un punto, l'equante, che per tutti i pianeti, a eccezione di Mercurio, era collocato esattamente a metà fra la posizione della Terra e quella del pianeta. Soltanto dall'equante il moto del centro dell'epiciclo sul deferente appariva come circolare uniforme, ma non esisteva alcuna giustificazione per questo artificio, che era esclusivamente di carattere geometrico, se non il tentativo di riprodurre al meglio le posizioni osservate dei pianeti e Tolomeo riuscì nel suo intento.

Il corso degli eventi della storia, tuttavia, rese il *Mathematikè syntaxis* del tutto sconosciuto in Europa per circa mille anni, fino a quando gli astronomi arabi che lo avevano letto, tradotto, utilizzato e apprezzato a tal punto da modificarne il titolo in *al-Magisṭī*, ossia *Il Grandissimo*, non avrebbero portato il manoscritto in Spagna. Fu qui – e più precisamente nella città di Toledo che, dopo essere stata strappata nel 1085 da re Alfonso VI di Castiglia a un dominio arabo durato quasi 400 anni, era divenuta un centro culturale multietnico, ricchissimo di biblioteche e di testi in lingua araba – che un italiano, Gherardo da Cremona, tradusse intorno al 1160 l'opera di Tolomeo dall'arabo al latino, latinizzandone anche il titolo in *Almagestum*. Ottant'anni dopo, John of Holywood, meglio noto come Giovanni Sacrobosco, matematico, astronomo e astrologo (nato probabilmente in Inghilterra nel 1195 e morto a Parigi, dove insegnava all'università), avrebbe tratto da questa traduzione dell'*Almagesto* quello che per molti anni sarebbe stato il manuale di astronomia più diffuso nelle università d'Europa: il *Tractatus de sphaera* (noto anche come il *De sphaera mundi*, o più semplicemente come il *De sphaera*).

La traduzione a opera di Gherardo da Cremona sarebbe rimasta l'unica versione nota dell'*Almagesto* in Europa fino a quando, con l'avvento dell'Umanesimo, non si sarebbero avviati un intenso lavoro di promozione e riscoperta dei "classici" e una conseguente traduzione dei testi originali dal greco al latino, che avrebbero avuto come effetto la rapida diffusione del modello di Tolomeo.

Una sorte simile a quella di Tolomeo aveva subito anche Aristotele, il cui pensiero aveva iniziato a diffondersi in Europa alla fine del XII secolo per effetto dei commenti di Ibn Rushd, a noi noto come Averroè, medico, filosofo e matematico arabo, nato a Cordova, in Spagna, nel 1126, e morto a Marrakech, in Marocco, nel 1198. L'accoglienza nei confronti del filosofo greco non era stata proprio delle migliori:

nel 1210, nella nascente Università di Parigi, la lettura e l'insegnamento delle opere naturali di Aristotele e dei commenti a esse dedicate erano stati proibiti, pena la scomunica, e quando, nel 1252, un giovane e dotto frate domenicano, Tommaso d'Aquino, era giunto in quella città in veste di professore dell'università, vigeva ancora il divieto assoluto di commentare le opere di Aristotele.

Il giovane frate, tuttavia, non si era arreso e, non avendo studiato il greco, aveva chiesto a un confratello belga, Guglielmo di Moerbeke, di tradurre tutte le opere originali di Aristotele in latino. In questo modo, aveva potuto commentarle e anche evidenziare ogni singolo passaggio in cui la traduzione attraverso l'arabo non era coerente col testo originale.

Il lavoro di Tommaso non si fermò qui, perché egli attuò anche una completa rivalutazione del filosofo greco, cogliendo, in particolare nella sua cosmologia, la prova evidente dell'esistenza di Dio: il motore immobile. Concetto che, del resto, era stato introdotto proprio dallo stesso Aristotele nella *Metaphysica*.

Grazie a questa rilettura del filosofo della natura greco, effettuata da san Tommaso, il modello geocentrico, che già godeva della totale approvazione dei teologi, perché pareva impensabile che Dio non avesse voluto porre al centro dell'Universo l'Uomo, termine ultimo della sua creazione, acquisiva una propria sacralità. In quel moto ordinato e perfetto delle sfere era possibile, infatti, cogliere il riflesso di Dio, di quell'«amor che move il Sole e l'altre stelle», la cui rapida visione avrebbe fatto perdere i sensi a Dante al termine del suo viaggio immaginario attraverso un Paradiso, in cui il livello di beatitudine delle anime cresceva all'aumentare della distanza dalla Terra, salendo verso l'alto, di sfera in sfera. Queste ultime, in accordo con quanto aveva scritto Aristotele nel *De Caelo*, erano costituite di una materia cristallina ingenerata, eterna, incorruttibile, imponderabile e perfettamente trasparente: l'etere.

Il modello di Aristotele, approvato e adottato da san Tommaso, tuttavia era una costruzione caratterizzata da un aspetto più teoretico che pratico: i calcoli per determinare le posizioni dei pianeti erano effettuati dagli astronomi utilizzando il modello di Tolomeo, che veniva insegnato in tutte le università d'Europa attraverso l'esemplificazione che ne era stata proposta da Sacrobosco nel *De sphaera*.

Gli studiosi erano consapevoli che il sistema geocentrico di Tolomeo mostrava diversi problemi, il più grave dei quali era la mancanza di una variazione osservata del diametro della Luna. Quest'ultimo, infatti, avrebbe dovuto raddoppiare e di-

mezzarsi a ogni mezzo giro della Luna sul proprio epiciclo, che Tolomeo aveva dovuto rendere particolarmente grande per riuscire a riprodurre, con buona precisione, le posizioni osservate della Luna. Inoltre, tutti i diversi artifici su cui si fondava il modello di Tolomeo, ossia le dimensioni relative di epicicli e deferenti, le velocità di rotazione a loro assegnate e gli equanti, non avevano alcuna giustificazione, se non quella di tentare di conciliare, al meglio, le predizioni con le osservazioni.

Nessuno, tuttavia, osava mettere in dubbio un modello che era stato ritenuto valido per più di mille anni e soprattutto godeva della totale approvazione della Chiesa. Qualcosa, però, stava cambiando in quella *nuova era*, che si era aperta con l'invenzione della stampa, a cui avrebbero fatto seguito appena 40 anni dopo la scoperta dell'America e l'inizio di un'epoca di grandi navigazioni.

I viaggi attraverso l'oceano, oltre a necessitare di riferimenti astronomici precisi per l'orientamento, cominciavano a mostrare la presenza di terre e di popoli anche in quella parte del globo non considerata né nella *Bibbia*, né dallo stesso Alighieri che aveva illustrato con maestria poetica, nel XXXIV Canto dell'*Inferno* (vv. 121-126), la ragione per cui tutte le terre emerse dovevano trovarsi solo nell'emisfero boreale:

Da questa parte cadde giù dal cielo;
 e la terra, che pria di qua si sporse,
 par paura di lui fé del mar velo,
 e venne a l'emisperio nostro; e forse
 per fuggir lui lasciò qui loco vòto
 quella ch'appar di qua, e su ricorse.

Chi è caduto dal Cielo, in direzione della parte meridionale della Terra, è Lucifero, l'angelo ribelle. Allora, per paura, le terre di quell'emisfero si sono ritirate verso l'alto, lasciandolo interamente ricoperto dalle acque e poi, quando Lucifero è giunto a conficcarsi nel centro della Terra, anche le terre che si trovavano sopra di lui sono fuggite verso l'alto, creando così il vuoto della voragine dell'*Inferno*. Fuoriuscite dall'emisfero settentrionale, le terre si sono spostate in quello meridionale, dove hanno formato la montagna del Purgatorio, proprio quella stessa che Ulisse aveva dichiarato di essere riuscito a intravedere, nel XXVI Canto dell'*Inferno* (vv. 133-135), dopo aver varcato assieme ai suoi compagni le Colonne d'Ercole ed essersi spinto nell'emisfero australe:

quando n'apparve una montagna, bruna
per la distanza, e parvemi alta tanto
quanto veduta non avea alcuna.

Una visione rapida, subito seguita dalla tragedia (vv. 136-142), a cui va inevitabilmente incontro chiunque osi dirigersi verso l'altro emisfero, nel tentativo di conoscere ciò che non è dato all'uomo di sapere:

Noi ci allegrammo, e tosto tornò in pianto,
ché de la nova terra un turbo nacque,
e percosse del legno il primo canto.
Tre volte il fé girar con tutte l'acque;
a la quarta levar con la poppa in suso
e la prora ire in giù, com'altrui piacque,
infin che'l mar fu sovra noi richiuso.

In questo XXVI Canto dell'*Inferno*, Dante interpreta mirabilmente la concezione ancora dominante nel Medioevo che vede l'uomo come creatura di Dio, a cui è preclusa, pena la punizione eterna, ogni tipo di attività che sia frutto di una scelta personale e che vada in conflitto con la volontà prestabilita dal Creatore: il Dio che punisce Ulisse per la sua sete di conoscenza è ancora molto simile al Dio che ha condannato Adamo ed Eva ai patimenti della vita terrena per un peccato analogo. Non erano trascorsi 200 anni dalla stesura della *Divina Commedia*, che il mondo aveva iniziato a cambiare e, cinque anni dopo la scoperta dell'America, giungeva a Bologna un giovane polacco. Chi lo aveva inviato a frequentare quello che era considerato lo *Studium* più prestigioso dell'epoca era stato lo zio materno, Lucas Watzenrode, che lo aveva cresciuto assieme ai suoi tre fratelli, quando, poco più che bambini, erano rimasti orfani del padre. Lo zio era il vescovo di Warmia, una diocesi nella regione nord-orientale della Polonia, ed era riuscito a strappare ad alcuni ecclesiastici influenti la promessa che il nipote avrebbe ottenuto la nomina a canonico della regione di Frombork, di cui Warmia faceva parte. Si trattava di un incarico a carattere amministrativo, che non richiedeva il sacerdozio, ma una formazione universitaria di giurisprudenza e di diritto canonico. Per

questo motivo, dopo aver compiuto i primi studi e appreso il latino a Cracovia, il giovane era stato mandato dallo zio a Bologna. Qui aveva imparato il greco e trovato alloggio presso un illustre insegnante: Domenico Maria Novara (detto anche da Novara), di origine ferrarese, che dal 1483 era professore di matematica e astronomia all'Università.

Assieme a Novara, Mikołaj Kopernik, a noi noto come Niccolò Copernico, avrebbe compiuto due osservazioni astronomiche: l'occultazione lunare di Aldebaran, la stella più luminosa della costellazione del Toro, avvenuta il 4 marzo del 1497 e la congiunzione fra la Luna e Saturno, verificatasi il 4 marzo del 1500, che considerò talmente importanti da citarle nel ventisettesimo capitolo del quarto libro di quel suo *De revolutionibus orbium coelestium*, che avrebbe visto la luce in forma di stampa circa 40 anni dopo, proprio nel giorno in cui l'autore si sarebbe congedato da questo mondo terreno.

Novara, che aveva compreso di quali straordinarie capacità fosse dotato il suo giovane allievo, lo incoraggiò a dedicarsi pienamente a quella che era già una sua passione: l'astronomia. Talmente bravo risultò Copernico in quel campo che, terminati gli studi a Bologna nel settembre del 1500, venne invitato a svolgere alcune conferenze di astronomia a Roma, una delle quali in presenza dello stesso papa, Alessandro VI.

Rientrato in Polonia nel 1501, il giovane ottenne quasi immediatamente la nomina a canonico di Frombork, un'attività che tuttavia non poteva soddisfare in alcun modo una mente desiderosa di conoscere i segreti della meccanica celeste, come era la sua, così, approfittando del fatto che a Bologna non aveva completato il percorso di studi necessario per l'ottenimento del titolo di dottore in diritto canonico, chiese il permesso di tornare in Italia.

Nel 1503, ottenuto il suddetto titolo all'Università di Ferrara, Copernico non ebbe più la possibilità di rimanere nel nostro paese e si vide costretto a rientrare a Frombork. Qui continuò ad affiancare alla professione di canonico lo studio per l'astronomia, finché, in un periodo compreso fra il 1508 e il 1514, riuscì a dare forma scritta a un'idea nuova e rivoluzionaria: un modello in cui non era più la Terra a essere al centro del Cosmo, ma il Sole.

Il manoscritto di Copernico era un breve trattato che portava un titolo piuttosto lungo: *De hypothesibus motuum coelestium a se constitutis commentariolus*. In questo

testo che, proprio a causa della lunghezza del titolo, sarebbe divenuto noto come il *Commentariolus*, l'astronomo polacco, oltre ad anticipare al lettore che si stava dedicando alla stesura di un'opera molto più ampia, delineava le caratteristiche principali del suo modello, giustificandone anche la ragione: ponendo il Sole al centro e lasciando solamente la Luna a orbitare attorno alla Terra, era riuscito a eliminare gli equanti, artifici che considerava inaccettabili.

Nel 1514, il *Commentariolus* cominciò a circolare entro una cerchia ristretta di studiosi che coinvolse via via un maggior numero di lettori e, contrariamente a quanto l'autore pensava e temeva, le reazioni furono tutte positive. Finanche l'arcivescovo di Capua, Nikolaus von Schönberg, venuto a sapere dell'esistenza di un trattato che annunciava un modello di Universo più semplice e formalmente molto più elegante di quello di Tolomeo, avrebbe contattato Copernico per chiedergli una copia del suo manoscritto, ma questi, temendo una reazione ostile della Chiesa, non solo non glielo inviò, ma decise che non avrebbe mai dovuto pubblicare il suo lavoro.

Copernico aveva compreso molto bene a quali rischi sarebbe andato incontro chi avesse osato mettere in discussione una convinzione radicata da millenni, sostenuta con forza dalla Chiesa e non provabile sperimentalmente in alcun modo: tutto, a eccezione delle difficoltà nel riprodurre i moti dei pianeti, lasciava supporre che la Terra fosse ferma e il Sole le girasse attorno e l'unica autorevole voce, quella di Aristarco, che si era levata nel lontano passato a sostegno di un'ipotesi alternativa, che vedeva il Sole al centro e non la Terra, era stata completamente ignorata dalla storia.

Copernico ultimò comunque l'opera più ampia, costituita da sei Libri, che aveva annunciato nel *Commentariolus*, ma decise di tenerla, per così dire, metaforicamente "chiusa nel cassetto".

Nel 1539, Georg Joachim von Lauchen (meglio noto come Georg Joachim Rheticus), un giovane matematico e astronomo dell'Università di Wittenberg (cittadina tedesca che sarebbe passata alla storia per aver dato l'avvio alla riforma protestante il 31 ottobre del 1517), decise di recarsi a far visita a Copernico per poterlo conoscere personalmente.

Il "Retico" aveva letto il *Commentariolus* e ne era rimasto totalmente affascinato. L'incontro col maestro soddisfò così pienamente le sue aspettative che egli decise

di fermarsi a Frombork per un po' di tempo, in modo da poter studiare in dettaglio il modello eliocentrico e, al termine di quel soggiorno, riuscì addirittura a strappare a Copernico il permesso di pubblicare a Danzica un breve estratto della sua teoria.

Non è dato sapere il motivo per cui Copernico si lasciò convincere dal Retico. Probabilmente, si trattò di un insieme di ragioni che concorsero a questo risultato. Al grande entusiasmo mostrato dal suo allievo si unì, forse, la consapevolezza di Copernico di non aver più nulla da temere, avendo ormai raggiunto i 67 anni, un'età più che avanzata per l'epoca, e non ultima la soddisfazione di poter dare forma a un lavoro per il quale egli, da scienziato degno di tale nome, aveva speso la propria vita, con la speranza di riuscire a spingere oltre gli angusti limiti, che all'epoca venivano considerati invalicabili, le sue capacità di ragionamento.

Così, nel 1540, il *De libris revolutionum Copernici narratio prima*, il cui autore, Georg Joachim Rheticus, rimase anonimo, venne dato alle stampe. L'assenza di controversie che seguì l'edizione di questo testo indusse Copernico ad affidare al Retico la pubblicazione della sua opera intera. Recatosi a Norimberga proprio per questo scopo, Georg Joachim venne però raggiunto dalla notifica di un incarico di insegnamento, che gli era stato assegnato dall'Università di Lipsia e, pertanto, si vide costretto ad affidare ad altri la cura della pubblicazione e la sua scelta ricadde su Andreas Osiander, teologo e scienziato di fede luterana, come del resto era anche il Retico.

Non è chiaro il motivo che spinse Osiander a far precedere il lavoro di Copernico da una prefazione, scritta di suo pugno, ma che lasciò volutamente anonima, intitolata *Ad lectorem de hypothesis huius operis*: forse si trattò semplicemente dell'espressione della sua personale convinzione a favore del sistema geocentrico. La prefazione di Osiander, infatti, tendeva a sottolineare che l'eliocentrismo era solo un'ipotesi matematica, funzionale alla facilitazione dei calcoli relativi al moto dei pianeti, e non una descrizione della reale natura dell'Universo, ma, non essendo firmata, lasciò sottintendere che potesse essere opera dello stesso Copernico. Così, se da un lato ebbe indubbiamente un effetto mitigatore sulla rivoluzionarietà del risultato, dall'altro mise Copernico sotto una luce ambigua e di fatto oscurò la straordinarietà del suo lavoro.

In realtà, chi avesse letto con attenzione il *De revolutionibus orbium coelestium* non avrebbe avuto dubbi su quella che era la posizione di Copernico e la stessa dedica, che l'autore aveva voluto inserire in forma di prefazione, indirizzata a papa Paolo III mostrava chiaramente quali passi l'ideatore di quel nuovo modello avesse dovuto compiere per abbandonare la concezione geocentrica in favore di quella eliocentrica.

I lettori del *De revolutionibus*, tuttavia, erano probabilmente molto più interessati all'aspetto tecnico del risultato, ovvero alla possibilità di poter trarre delle tavole sulle posizioni previste dei pianeti che si rivelassero più accurate di quelle desumibili utilizzando il modello di Tolomeo, piuttosto che alla veridicità del modello eliocentrico e alla straordinaria innovazione che lo stesso costituiva, avendo spostato il centro dell'Universo dalla Terra al Sole. Uno di questi, infatti, sarebbe stato Erasmus Reinhold, rettore dell'Università di Wittenberg, che avrebbe utilizzato il lavoro di Copernico esclusivamente per pubblicare nel 1551 le "tavole pruteniche", note anche come "tavole prussiane", così chiamate in onore di Alberto I, duca di Prussia, che ne avrebbe finanziato la realizzazione.

Nelle intenzioni di Reinhold, le nuove tavole avrebbero dovuto rimpiazzare le "tavole alfonsine", volute da re Alfonso X, detto *el Sabio*, circa 300 anni prima e realizzate utilizzando il modello di Tolomeo. Le "tavole alfonsine" erano state revisionate e aggiornate, nel corso degli ultimi anni, da diversi astronomi e queste operazioni si erano rese necessarie a causa dell'imprecisione del modello di Tolomeo, che induceva, col trascorrere degli anni, un aumento progressivo delle differenze tra le posizioni predette e quelle osservate dei pianeti.

Lo stesso Cristoforo Colombo si era servito di una revisione aggiornata delle "tavole alfonsine" effettuata da Abraham Zacuto, astronomo ebreo che, per ironia della sorte, sarebbe stato costretto a lasciare la Spagna a seguito del "decreto dell'Alhambra", emanato dai sovrani cattolici Isabella di Castiglia e Ferdinando II d'Aragona proprio nell'anno della scoperta dell'America.

In realtà, quello in cui sperava Reinhold non avvenne, in quanto le "tavole pruteniche" sarebbero state utilizzate solamente nei paesi di fede luterana, mentre le "alfonsine" avrebbero continuato a essere usate nei paesi cattolici. La spaccatura dell'Europa, provocata dall'affermarsi della Riforma protestante (1517-1555), dallo Scisma anglicano (1534), dal Concilio di Trento (1545-1563) e dalle innumerevoli

guerre di religione che ne sarebbero scaturite per diverso tempo, avrebbe avuto il suo effetto persino sull'astronomia, nonostante anche i luterani si fossero dimostrati, come i cattolici, fortemente contrari a un sistema di Universo che confutava quanto era riportato nella *Bibbia*, o più precisamente nel Libro di Giosuè (10:12,13):

Quel giorno, quando il Signore diede a Israele la vittoria sugli Amorrei, Giosuè pregò il Signore e gridò alla presenza di tutti gli Israeliti:
 “Sole, fermati su Gabaon!
 e tu, luna, sulla valle di Aialon!”
 Il sole si fermò,
 la luna restò immobile,
 un popolo si vendicò
 dei suoi nemici.

Dio, pregato da Giosuè che, dopo aver guidato il suo popolo a Canaan, voleva avere una vittoria completa sui nemici, gli Amorrei, già in fuga, aveva fermato il Sole e la Luna e quindi sostenere che il Sole era già fermo equivaleva a smentire l'operato dell'Altissimo.

Nessuno, tuttavia, forse proprio grazie alla prefazione di Osiander, unita al fatto che la lettura del *De revolutionibus orbium coelestium* non era per niente semplice, pareva aver recepito la portata rivoluzionaria del lavoro di Copernico che aveva tolto alla Terra il privilegio della centralità. A riprova di quanto appena affermato, vale la pena ricordare che, quando, una quarantina di anni dopo la pubblicazione del *De revolutionibus*, papa Gregorio XIII avrebbe deciso di riformare il calendario (in quanto la differenza tra la reale durata dell'anno solare e quella che era stata assunta, accumulatasi nei secoli, aveva spostato all'indietro di dieci giorni la data della Pasqua), gli astronomi che aveva riunito in commissione, perché trovassero la soluzione a un problema destinato a ingigantirsi col trascorrere del tempo, si sarebbero serviti proprio dei valori per l'anno solare e siderale che Copernico aveva calcolato e riportato nella sua opera.

Il lavoro di Copernico era indiscutibilmente di difficile lettura, poiché, oltre a

essere colossale, era infarcito di relazioni matematiche complesse, volte a dimostrare la veridicità del suo modello. Tuttavia, sarebbe stato sufficiente leggere con attenzione la parte speculativa, che occupa la metà del Primo Libro, per comprendere, passo dopo passo, il ragionamento che aveva portato l'astronomo polacco a mettere il Sole al centro, al posto della Terra. Prima di far immergere il lettore nella matematica, Copernico illustrava, infatti, con estrema chiarezza le conseguenze dell'assunto che la Terra fosse, al pari degli altri pianeti, in orbita attorno al Sole. La prima di queste era la possibilità di dividere i pianeti in interni ed esterni alla Terra, giustificando così, elegantemente, l'evidenza osservativa che vuole Mercurio e Venere visibili esclusivamente all'alba o al tramonto. Il problema era stato affrontato anche da Tolomeo, che lo aveva risolto artificialmente, allineando i centri degli epicicli di Mercurio e Venere al Sole e stabilendo in modo del tutto arbitrario – ed errato – che Mercurio dovesse essere più prossimo alla Terra, centro del suo universo, di quanto fosse Venere. Copernico, invece, aveva reso tutto più semplice ed elegante: un pianeta interno non avrebbe mai potuto trovarsi in opposizione al Sole e di conseguenza non sarebbe mai risultato visibile nel pieno della notte, come accade invece per i pianeti esterni. Inoltre, la maggiore prossimità di Mercurio al Sole, rispetto a Venere, all'alba o al tramonto, mostrava inequivocabilmente che l'orbita di Mercurio era più interna di quella di Venere e quindi i due pianeti potevano essere ordinati con certezza, in funzione della loro distanza dal Sole.

Una conseguenza del modello eliocentrico, che piaceva molto a Copernico, era proprio la possibilità di dare all'ordine dei pianeti una giustificazione che avesse un senso logico. A differenza di quanto accadeva nel modello geocentrico, in cui i periodi di rivoluzione di Giove e Saturno risultavano molto simili fra loro, rispettivamente di 399 e 378 giorni circa, e di poco più grandi del periodo di rivoluzione della Terra attorno al Sole, poiché in effetti era il movimento orbitale della Terra a essere scambiato per il loro moto, all'aumentare della distanza dal Sole aumentavano anche i periodi di rivoluzione dei pianeti attorno a esso. Questa relazione era per Copernico segno di grande armonia, nonché un forte indizio a sostegno della veridicità del suo modello.

Anche il problema dei moti retrogradi trovava una spiegazione naturale nel modello eliocentrico (Fig. 5), in cui tutto dipendeva dalla posizione e dal moto della Terra rispetto agli altri pianeti. L'evidente "disordine", che aveva tanto turbato

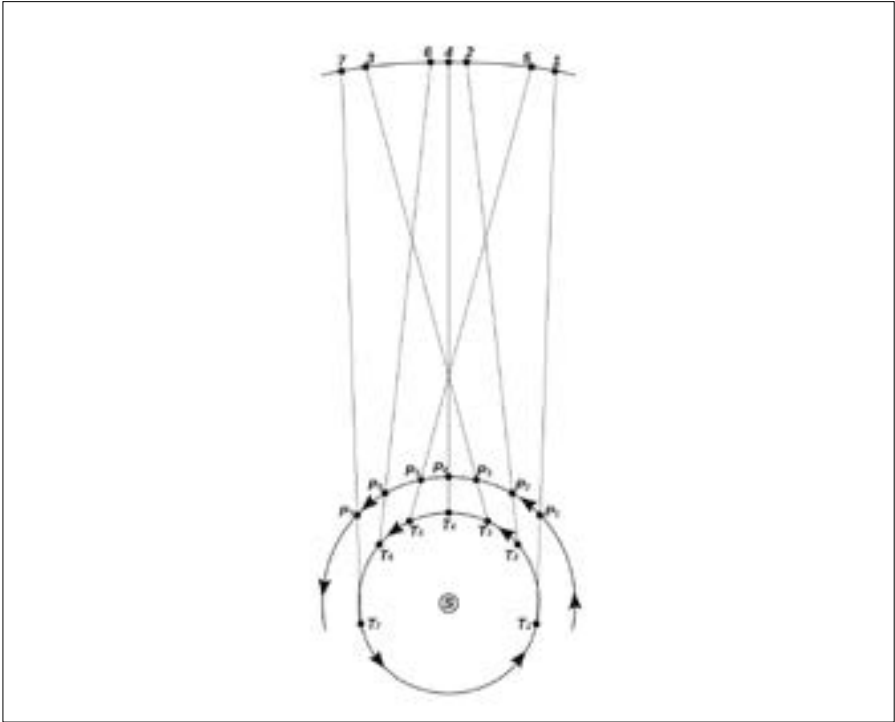


Fig. 5. Il moto retrogrado di un pianeta esterno, secondo l'interpretazione eliocentrica di Copernico: la Terra (T) compie più velocemente la propria orbita attorno al Sole, così il pianeta esterno (P), visto dalla Terra, appare muoversi all'indietro.

Platone, altro non era che il risultato di un'osservazione, che non era effettuata da un punto di vista fermo, come si riteneva fosse la Terra, ma in moto.

Nella parte speculativa del suo Primo Libro, Copernico mostra come, considerando attentamente le dimensioni delle orbite e i periodi relativi, si potessero calcolare molti dei dettagli più fini che riguardavano i moti retrogradi, quali ad esempio la posizione di un pianeta quando diventava stazionario, ossia pareva essere fermo, per quanto tempo avrebbe dato l'impressione di muoversi all'indietro e dove si sarebbe trovato quando avrebbe iniziato a riprendere il suo moto diretto.

È molto istruttivo, infine, leggere come Copernico, nel V capitolo del suo Libro I, fornisce l'argomentazione a sostegno della rotazione della Terra attorno al proprio asse:

Sebbene la maggior parte degli autori sia concorde che la Terra resta inerte al centro del mondo, cosicché giungono impensabile e finanche ridicolo supporre il contrario, tuttavia se considereremo più attentamente la cosa, la questione ci apparirà non ancora risolta e perciò niente affatto trascurabile. Infatti ogni mutazione locale apparente deriva dal mutamento della cosa guardata, o da quello di chi guarda, da mutazione certamente ineguale di entrambi. Perché fra cose mosse in modo eguale nello stesso senso non si percepisce movimento: intendo dire fra l'oggetto veduto e colui che lo vede. Ora è proprio la Terra quella da cui è visto quel circuito celeste e offerto alla nostra vista. Se dunque si ipotizza qualche movimento della Terra esso apparirà in tutte le cose che gli sono esterne con uguale velocità, ma in senso opposto, come se quelle cose passassero via quale è innanzi tutto la rivoluzione diurna. Questa infatti sembra trascinare l'intero mondo, fuorché la Terra e quelle cose che sono intorno ad essa. Ma se si ammettesse che il cielo non ha nulla di questo movimento, e invece la Terra ruota da occidente verso oriente, se qualcuno esaminasse attentamente quell'apparente sorgere e tramontare del Sole, della Luna e delle Stelle, troverebbe che proprio così avviene. E poiché è il cielo quello che contiene e abbraccia tutto, il luogo comune di tutte le cose, apparirà subito perché si debba attribuire un movimento al contenuto piuttosto che al contenente, a ciò che è collocato piuttosto che a quello che colloca (Bertin 1973, pp. 295-296).

Nel suo affermare che «fra le cose mosse in modo eguale e nello stesso senso non si percepisce movimento» e che «il movimento della Terra apparirà in tutte le cose che gli sono esterne con uguale velocità ma in senso opposto», si trova già quel «principio di relatività» che sarà enunciato da Galileo nel *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* quasi 100 anni dopo.

Copernico fu, per molti aspetti, un uomo nuovo, figlio di un'era di grandi mutamenti e innovazioni, ma rimase legato alla tradizione che vedeva nella circolarità dei moti il segno dell'ordinata perfezione del Cosmo, pertanto scelse per il suo modello i moti circolari uniformi. La sua posizione filosofica, a questo proposito, è chiarissima e illustrata nel capitolo X del Libro I:

Al centro di tutte le cose si trova quindi il Sole. Chi infatti, in questo bellissimo tempio, potrebbe collocare questa lampada in una posizione diversa e migliore di quella da cui puoi illuminare insieme il tutto? [...] E così il Sole, come se fosse assiso su un trono regale, governa la famiglia degli astri che si muovono in cerchio intorno a lui (Hoskin 2001, p. 89).

La conseguenza della scelta dei moti circolari uniformi non fu indolore: anche in un sistema che vedeva il Sole al centro, era necessario introdurre qualche artificio per riprodurre i moti osservati dei pianeti che in realtà si muovono su orbite ellittiche, di cui il Sole occupa uno dei fuochi. Così, anche Copernico, che era riuscito a liberarsi degli equanti, si vide costretto a introdurre i deferenti e gli epicicli nel suo modello.

La tradizione vuole che il 24 maggio del 1543 i discepoli e gli amici a lui più vicini gli abbiano consegnato la prima copia stampata del suo lavoro e che egli, risvegliatosi per pochi istanti dal coma, abbia sorriso e sia spirato. È molto probabile che questo racconto non sia una fedele riproduzione dello svolgersi degli eventi, ma debba invece considerarsi il tributo con cui i discepoli abbiano voluto omaggiare quel loro grandissimo maestro, che aveva tenuto segreta per più di 30 anni l'opera che avrebbe cambiato il mondo.

Mettendo il Sole al posto della Terra al centro del Cosmo, Copernico aveva tolto all'Uomo il ruolo di centralità nell'Universo, sradicando così definitivamente quello che per millenni era stato un pilastro non solo della religione, ma più in generale della filosofia ed era molto probabile che le conseguenze di questo sconvolgimento valicassero gli angusti confini della scienza, provocando fortissime reazioni avverse. Consapevole dei terribili rischi in cui sarebbe potuto incorrere, aveva deciso di non pubblicare il proprio lavoro e proprio in conseguenza di questa sua scelta non ebbe modo di vedere gli effetti del suo "averci tolti dal centro".

In realtà, se Copernico fosse sopravvissuto alla pubblicazione dello straordinario frutto del suo ingegno, si sarebbe sorpreso nell'accorgersi che non solo nell'immediato non sarebbe accaduto nulla, ma non ci sarebbero state reazioni di alcun tipo nemmeno negli anni a venire. Il *De revolutionibus orbium coelestium* sarebbe stato letto da pochissimi studiosi e rimasto un'opera pressoché sconosciuta per diverso tempo.

Nelle università d'Europa si sarebbe continuato a insegnare il sistema di Tolomeo, fatte salve poche e rare eccezioni. Una di queste fu a opera di Michael Maestlin, nato sette anni dopo la morte di Copernico e divenuto professore di matematica all'Università di Tubinga: ai suoi studenti, tra i quali sarebbe stato incluso anche Keplero, avrebbe insegnato i due sistemi del mondo, quello tradizionale geocentrico e quello innovativo eliocentrico di Copernico.

L'altro scienziato che avrebbe portato alla luce l'opera di Copernico, insegnandola e sostenendola a tal punto da farla includere, più di 70 anni dopo la sua pubblicazione, nell'*Indice dei libri proibiti* della Chiesa, sarebbe stato Galileo Galilei.

Solo allora la "rivoluzione copernicana" avrebbe cominciato timidamente a farsi strada, tra innumerevoli difficoltà, e ancora molto lungo sarebbe stato il cammino verso la consapevolezza che la Terra era stata definitivamente abbandonata dal suo Cielo.

CAPITOLO III

PADOVA, 7 GENNAIO 1610

Abbiamo inoltre un ottimo ed eccellente argomento per togliere di scrupolo coloro che, pur accettando con animo tranquillo nel Sistema Copernicano la rivoluzione dei Pianeti intorno al Sole, sono però così turbati dalla rotazione della sola Luna intorno alla Terra, mentre intanto ambedue compiono l'annuo giro intorno al Sole, da ritenere che si debba respingere questa struttura dell'Universo come impossibile; perché ora, non più abbiamo un solo Pianeta rotante intorno ad un altro, mentre ambedue percorrono una grande orbita attorno al Sole, bensì quattro astri l'esperienza sensibile ci mostra erranti intorno a Giove, a somiglianza della Luna intorno alla Terra, mentre tutte insieme con Giove, nello spazio di 12 anni, tracciano un gran giro attorno al Sole.

(Galileo, *Sidereus Nuncius*)

In quella notte d'inverno, di circa 400 anni fa, uno scienziato di origine pisana, che da diversi anni era professore di matematica e astronomia all'Università di Padova, puntò verso Giove un apparecchio che aveva costruito. L'invenzione del cannocchiale non era stata sua, poiché, poco meno di un anno prima, era venuto a conoscenza, da uno dei tanti studenti a cui impartiva lezioni private, che in Olan-



PAROLE CHIAVE

Pianeti / Satelliti / Orbite ellittiche

da avevano già realizzato degli strumenti, costituiti da un tubo, entro cui erano stati messi due vetri incurvati, che permettevano di “vedere come se fossero vicine” persone o cose che si trovavano, invece, a una grande distanza dall’osservatore.

Galileo Galilei aveva immediatamente intuito le potenzialità che uno strumento di quel genere avrebbe potuto avere per una repubblica come la Serenissima, di cui Padova era parte, che temeva di essere attaccata, via mare, dalle potenze nemiche: grazie a esso, una flotta di imbarcazioni, con probabili intenzioni ostili, avrebbe potuto essere avvistata ben prima di risultare visibile, a occhio nudo, all’orizzonte. Pertanto, senza perdere nemmeno un giorno di tempo, si era fatto tagliare, incurvare e levigare da un abile artigiano, che lavorava in una delle tante e famose vetriere di Murano, un buon numero di lenti e le aveva inserite, due alla volta, entro un tubo di piombo. Aveva poi variato la loro distanza reciproca, fino a quando non era riuscito a ottenere il suo miglior risultato: un ingrandimento delle immagini di oggetti lontani pari a otto volte il valore visibile a occhio nudo.

La dimostrazione del cannocchiale, che Galileo aveva effettuato in presenza del Doge di Venezia nell’agosto del 1609, era stata un grande successo e gli era valsa non solo la riconferma del suo incarico di insegnamento, che era soggetto ad approvazione ogni quattro anni, ma anche un considerevole aumento dello stipendio. Lo scienziato, tuttavia, non si era fermato a quel suo primo straordinario risultato e aveva continuato a modificare la curvatura delle lenti, fino a far raggiungere al suo cannocchiale i 20 ingrandimenti. Verso la fine di quello stesso anno, inoltre, aveva avuto un’idea che, oltre a cambiare radicalmente il corso della sua vita, avrebbe minato alla base e in modo definitivo il pensiero scientifico della sua epoca, ovvero quella di puntare il cannocchiale verso il cielo.

Così aveva fatto, negli ultimi giorni di dicembre del 1609, e si era molto sorpreso nell’accorgersi che esisteva una moltitudine di stelle, del tutto invisibili a occhio nudo. Oltre a questo, aveva notato che le regioni che a occhio nudo mostravano un aspetto nebulare, come la Via Lattea e la zona in cui erano immerse le Pleiadi, se osservate al cannocchiale, si rivelavano costituite, almeno in parte, da un gran numero di stelle debolissime.

Dopo aver osservato, per diverse notti, la Luna e averne stimato l’altezza delle montagne attraverso uno studio accurato delle ombre, la notte del 7 gennaio del 1610 lo scienziato pisano decise di puntare il cannocchiale verso Giove e si stupì

non poco nello scorgere «tre Stelline, piccole, invero, ma pur lucentissime [...] e più splendide delle altre loro pari per grandezza» (Galileo 1993, p. 31), due a est e una a ovest del pianeta.

A Galileo quella configurazione parve immediatamente poco probabile, perché le stelline erano troppo vicine a Giove e inoltre erano quasi perfettamente allineate all'equatore del pianeta, evidenze che lasciavano supporre che potessero essere corpi celesti orbitanti attorno a esso, ma lo scienziato, che sarebbe stato considerato, a ragione, l'ideatore del metodo sperimentale, non poteva trarre di certo una conclusione affrettata. Così, in perfetta coerenza con quello che era il suo *modus operandi* abituale, decise che avrebbe verificato quell'ipotesi con delle osservazioni successive. Del resto, sapeva che avrebbe dovuto attendere solo un giorno, poiché Giove, in quel periodo, era "retrogrado", ossia si stava muovendo da est verso ovest, e quindi, se le tre stelline erano veramente tali e non avevano pertanto nulla a che vedere con il pianeta, la notte successiva avrebbero dovuto trovarsi tutte a est di Giove.

Non fu così, anzi, la notte dell'8 gennaio Galilei scorse tutti e tre i minuscoli corpi celesti a ovest di Giove, ovvero nel luogo in cui non avrebbero mai potuto essere se fossero state delle "stelle fisse".

Prima di trarre la conclusione definitiva, lo scienziato volle sincerarsi che non ci fosse stato un errore nella predizione del moto di Giove e che il movimento del pianeta fosse realmente retrogrado e non, al contrario, diretto, evento che non era da considerarsi impossibile, dal momento che le tavole astronomiche erano soggette a innumerevoli imprecisioni. Galileo attese, dunque, con una buona dose di agitazione, la notte del 9 gennaio per poter escludere anche quella eventualità, ma il cielo si coprì di nubi e così dovette aspettare la notte successiva per accorgersi che Giove si trovava a ovest di due sole stelline, perché una delle tre era misteriosamente scomparsa.

A questo punto, egli non ebbe più dubbi sulla natura dei tre astri: dovevano essere, per forza di cose, in orbita attorno a Giove e quello che mancava all'appello doveva essere nascosto dal pianeta. Possiamo quasi immaginare, a 400 anni di distanza, l'emozione che deve aver colto Galileo, nel rendersi conto di aver scoperto, per caso, un nuovo centro di rivoluzione per i corpi celesti.

Egli, tuttavia, era dotato di un elevato rigore scientifico e la razionalità, in lui, prendeva sempre il sopravvento, così, prima di lasciarsi cullare dalla soddisfazione

di quel risultato inatteso, decise di continuare a esaminare l'insolito sistema di astri, come scriverà lui stesso, a proposito di quanto aveva concluso nella notte fra il 10 e l'11 gennaio: «l'apparente mutamento non in Giove era riposto, ma nelle Stelle osservate; e perciò ritenni di dover da allora in poi proseguire l'indagine con maggior oculatezza e scrupolosità» (Galileo 1993, pp. 32-33).

La notte dell'11 gennaio, notò che le stelline erano ancora solamente due e si trovavano a ovest del pianeta, ma le distanze da quest'ultimo erano mutate, così come era cambiata anche la loro separazione, e comprese quindi – come scriverà riferendosi a quell'osservazione, «tanto celeri si compiono le rivoluzioni di questi Pianeti, che per lo più è possibile cogliere anche le differenze orarie» (Galileo 1993, p. 33) – che si poteva seguire l'evoluzione delle posizioni di quei minuscoli astri, a cui, come si può notare, ha già attribuito il nome di “pianeti”, anche nel corso di una singola notte.

Lo scienziato cominciò, quindi, una vera e propria campagna di osservazioni notturne, che si sarebbe protratta fino al 4 marzo dello stesso anno e che, già a partire dalla notte fra il 13 e il 14 gennaio, gli permise di stabilire che i corpi celesti orbitanti attorno a Giove non erano tre, ma quattro: uno di essi, nascosto fino ad allora dal pianeta, comparve alla vista di Galileo proprio nel corso di quella notte. A meno di un mese dal termine delle sue osservazioni, Galileo diede alle stampe un libro di poche decine di pagine, in cui riportava scrupolosamente tutto quello che era riuscito a vedere in cielo col suo cannocchiale e quanto ne aveva potuto dedurre. Il titolo che aveva scelto, *Sidereus Nuncius*, che si potrebbe tradurre in *Annuncio sugli astri* oppure in *Messaggero Celeste*, era di grande effetto, così come d'effetto erano, sul frontespizio, la dedica a Cosimo II de' Medici (il figlio ventenne di Ferdinando I, da un anno succeduto al padre nella reggenza del Granducato di Toscana) e il nome *Medicea Sidera*, ovvero *Astri Medicei*, che Galileo aveva scelto di attribuire alle “quattro Lune” di Giove.

L'idea di dedicare ben quattro nuovi astri al signore di Firenze si dimostrò particolarmente felice, poiché, come Galileo aveva sperato, gli valse l'assunzione a «Matematico Primario del Ser.mo Gran Duca senz'obbligo di leggere e di risiedere né nello Studio né nella città di Pisa et con lo stipendio di mille scudi l'anno, moneta fiorentina» e così, nel settembre del 1610, lo scienziato poté fare ritorno a Firenze, città dove aveva vissuto fin da bambino (quando il padre Vin-

cenzo era stato chiamato a svolgere l'attività di musicista alla corte dei Medici) e in cui risiedeva ancora la madre.

Nel periodo che trascorse a Padova, prima di trasferirsi a Firenze, Galileo non smise di osservare il cielo e il 25 luglio, puntato il cannocchiale verso Saturno, si accorse che il pianeta mostrava due strane protuberanze laterali. In realtà, queste non erano altro che l'anello, visto in modo "sfavorevole", come avrebbe chiarito quasi 50 anni dopo lo scienziato olandese Christiaan Huygens nel suo *Systema Saturnium*, in quanto l'inclinazione reciproca della Terra e di Saturno fa apparire l'anello in forma diversa, nel corso del tempo, e può addirittura accadere che esso risulti invisibile, quando il piano equatoriale del pianeta viene a trovarsi esattamente perpendicolare alla linea di vista di chi lo osserva dalla Terra.

Facendosi influenzare da quanto aveva osservato pochi mesi prima intorno a Giove, Galileo pensò che quelle strane appendici potessero essere due satelliti di Saturno, che apparivano così "brutti", a causa dei difetti ottici del suo cannocchiale. Per assicurarsi la paternità di quella possibile scoperta, senza però rivelarla in modo chiaro, com'era costume dell'epoca, il 30 luglio inviò a Keplero, per mezzo di Giuliano de' Medici, che era ambasciatore del Granducato di Toscana a Praga, questa lunga sfilza non intervallata di lettere: «Smaismrmilmepoetaleumibune-nugttauiras». Correttamente anagrammata, dopo aver mutato anche alcune "u" in "v" (approfittando dell'ambiguità esistente in latino tra le due lettere), avrebbe fornito il seguente risultato: «altissimum planetam tergeminum observavi», ossia "ho osservato il pianeta più alto in forma triplice".

Keplero, che dal 1601 rivestiva a Praga il prestigioso incarico di matematico e astronomo di corte di Rodolfo II, imperatore del Sacro Romano Impero, trovò una soluzione: «salve umbisteneum geminatum martia proles», ovvero "salve, furiosi gemelli, prole di Marte", da cui dedusse che lo scienziato pisano avesse visto col cannocchiale i due satelliti di Marte. Il latino, tuttavia, gli parve troppo barbaro, anzi, «più barbaro che latino», come avrebbe dichiarato in seguito lui stesso, e per questa ragione si convinse che la soluzione non potesse essere quella giusta e non la inviò a Galileo. Lo fece però quando, tre mesi dopo, quest'ultimo gli mandò la frase che aveva volutamente celato entro l'incomprensibile sfilza di lettere.

La "soluzione barbara" di Keplero sarebbe stata curiosamente confermata quasi 300 anni dopo, nel 1877, dall'astronomo statunitense Asaph Hall che, utilizzando

un telescopio dotato di una lente di 66 cm di diametro, sarebbe riuscito a identificare i due minuscoli satelliti di Marte, Fobos e Deimos che, a causa delle loro ridottissime dimensioni (rispettivamente pari a 20 e 10 km circa), non avrebbero mai potuto essere visti col cannocchiale di Galileo.

Lo scienziato pisano non conosceva personalmente Keplero, che nel 1600, essendosi rifiutato di convertirsi al cattolicesimo, aveva dovuto abbandonare la cattedra di matematica della Scuola Evangelica Luterana di Graz, di cui era stato titolare per sette anni, ma lo stimava profondamente per quell'opera, il *Mysterium cosmographicum*, in cui, attraverso un utilizzo sapiente della matematica e della geometria, era riuscito a dimostrare la sua visione copernicana e platonica del mondo. Keplero, infatti, era stato capace di riprodurre con sufficiente accuratezza i moti dei sei pianeti noti all'epoca – Mercurio, Venere, Terra, Marte, Giove e Saturno – facendoli ruotare attorno al Sole su altrettante sfere, che aveva ottenuto circoscrivendo e inscrivendo in ciascuna di esse i cinque solidi platonici, ovvero il tetraedro, l'esaedro (o cubo), l'ottaedro, l'icosaedro e il dodecaedro, gli unici poliedri convessi, le cui facce sono costituite da poligoni regolari, uguali fra loro, e per i quali tutti gli spigoli e i vertici sono equivalenti.

Era stato Platone, nel *Timeo*, a ipotizzare che i quattro elementi fondamentali – fuoco, terra, aria e acqua – fossero costituiti da particelle piccolissime, che avevano la forma dei primi quattro solidi sopra elencati. In questo modo, aveva potuto fornire una giustificazione di carattere geometrico alla maggiore mobilità del fuoco rispetto a quella dell'aria, essendo il tetraedro più instabile dell'ottaedro, e alla maggiore stabilità della terra rispetto a quella dell'acqua, essendo il cubo più stabile dell'icosaedro. Al dodecaedro, invece, il sommo filosofo dell'antica Grecia aveva assegnato, nel *Fedone*, l'invidiabile compito di rappresentare la forma dell'intero Universo.

Galileo aveva ricevuto dallo stesso Keplero una copia, in omaggio, del *Mysterium cosmographicum*, che era stato pubblicato a Tubinga nel 1596. Nella lettera di ringraziamento, che aveva inviato il 4 agosto del 1597 allo scienziato tedesco, aveva voluto esprimere anche la propria opinione sull'eliocentrismo:

Parecchi anni fa mi sono trovato d'accordo con Copernico e da allora ho scoperto le cause di molti fenomeni, i quali, senza dubbio non possono

essere spiegati per mezzo di una semplice supposizione. Ho annotato parecchie ragioni e argomentazioni e anche confutazioni delle argomentazioni contrarie, le quali, comunque, io non mi sono arrischiato a divulgare fino a ora, trattenuto dal destino stesso di Copernico, nostro maestro, il quale, anche se ha conquistato fama immortale sopra a pochi, per innumerevoli altri esse potrebbero apparire oggetto di derisione.

In realtà vorrei tentare di pubblicare il mio punto di vista se esistessero più persone come voi, ma visto che non è così, mi asterrò. (Galileo 1965, pp. 54-55)

È interessante notare come a quell'epoca, che precede di tre anni la condanna al rogo di Giordano Bruno, Galileo non mostri alcun timore nei confronti di quella che avrebbe potuto essere la reazione della Chiesa, ma paia temere piuttosto la derisione da parte degli altri studiosi e non voglia correre il rischio di essere dimenticato, al pari di Copernico che, pur essendo stato maestro suo e di Keplero, non è riuscito a lasciare una traccia tangibile, se non in pochi, dell'immortalità del suo lavoro.

Ritornando al 1610, e più precisamente al 10 dicembre di quell'anno, Galileo affinò il “gioco degli anagrammi” con Keplero, facendogli recapitare a Praga una frase che aveva già un suo senso compiuto: «haec immatura a me jam frustra leguntur o j», ovvero “leggo invano queste cose non ancora mature”. In essa, aveva celato un messaggio che avrebbe rivelato a Keplero soltanto il mese successivo: «Cynthiae figuras aemulatur mater amorum», ossia “la madre dell'amore emula le forme di Cinzia”.

Con quella frase, molto poetica, Galileo aveva voluto garantirsi la paternità della prima osservazione delle fasi di Venere, che aveva effettuato, ancora una volta, con il suo cannocchiale. Venere era, infatti, proprio quella «mater amorum» che, mostrando le fasi, emulava le forme di Cinzia, la Luna. Quest'ultima, in effetti, veniva talvolta indicata col termine di “Cinzia” (derivato attraverso il latino *Cynthia*, che traeva origine a sua volta dal greco *Kynthia*), parola che nei tempi più antichi veniva utilizzata per indicare “la provenienza” della Luna, in quanto la mitologia greca voleva che la dea Artemide, personificazione della Luna, fosse nata sul monte Kynthos dell'isola di Delo.

Anche in questo caso Keplero aveva trovato una soluzione, «Macula rufa in iove est gyratur mathem, etc», ovvero “c'è una macchia rossa in Giove che gira matematicamente”, che si sarebbe rivelata vera non troppo tempo dopo, nel 1665, grazie alle osservazioni di Giovanni Domenico Cassini, ideatore della grande meridiana della basilica di San Petronio a Bologna e professore di astronomia presso l'Università della stessa città dal 1664 al 1671, anno in cui sarebbe stato chiamato a dirigere l'Osservatorio Astronomico di Parigi.

Quando Galileo pubblicò il *Sidereus Nuncius*, Keplero aveva già compiuto da un anno un passo per nulla piccolo: col suo *Astronomia Nova*², aveva dovuto togliere anche il Sole dal centro, per collocarlo più modestamente in uno dei due fuochi delle ellissi, curve molto meno nobili delle circonferenze, su cui, tuttavia, i pianeti, del tutto indifferenti al desiderio di perfezione dei grandi pensatori della storia umana, avevano deciso di muoversi.

Non era stato affatto facile, per lui, dover smantellare l'armonica bellezza del suo *Mysterium cosmographicum*, anzi, gli era costata una fatica enorme, ma ci si era visto costretto dalle osservazioni accuratissime che un danese, nobile per nascita e astronomo per passione, aveva collezionato nel corso di una vita intera, dopo aver trasformato l'isola di Hven – attuale Ven – situata nello Stretto dell'Øresund, fra la Svezia e la Danimarca, in un osservatorio astronomico. Tycho Brahe, che nel 1575 aveva ottenuto dal re Federico II di Danimarca, oltre all'isola, anche un ingente finanziamento, aveva letteralmente stravolto il modo di vivere degli abitanti di Hven, che prima del suo arrivo erano dei semplici e tranquilli contadini, costringendoli a impegnarsi anima e corpo nell'edificazione dell'osservatorio. Successivamente, aveva chiamato a Hven i migliori artigiani dell'epoca, affinché potessero realizzare *in loco* gli strumenti che aveva progettato e che gli avrebbero consentito di misurare con una precisione mai raggiunta prima le posizioni angolari dei pianeti. Gli strumenti ideati da Tycho erano, in buona sostanza, dei grandi “goniometri” dotati di un visore (privo di lenti poiché il cannocchiale di Galileo non era stato ancora realizzato), che poteva muoversi lungo un arco di cerchio. La scala graduata, presente su quest'ultimo, consentiva di leggere il valore relativo alla posizione angolare del corpo celeste centrato nel visore. Consapevole che tanto maggiore era la dimensione del “goniometro”, tanto migliore sarebbe stata la precisione della misura, Tycho aveva fatto realizzare un quadrante murale avente un raggio di 18 m.

Con le sue osservazioni, Tycho era riuscito a capire che né il modello tolemaico, né il modello copernicano erano in grado di riprodurre i moti dei pianeti, in particolare quello di Marte che, essendo, fra i pianeti esterni, quello con l'orbita più ellittica, è più difficilmente riconducibile alla combinazione di forme circolari.

Tycho aveva addirittura ideato un proprio modello, con cui, da luterano convinto quale era, aveva voluto tentare di salvare a ogni costo il ruolo centrale della Terra: solo questa, infatti, restava immobile al centro dell'Universo e attorno a essa girava il Sole, circondato da tutti gli altri pianeti.

Il modello di Tycho sembrava, a tutti gli effetti, aver avuto come unico intento quello di salvaguardare la veridicità della preghiera di Giosuè al Signore (cfr. capitolo II, p. 51) in quanto non riusciva a reggere il confronto con le osservazioni, ottenute proprio da chi lo aveva ideato. Tycho, del resto, era consapevole di questo problema e in particolare aveva notato le enormi difficoltà legate alla riproduzione dell'orbita di Marte e, proprio per questo motivo, aveva scelto di consegnare a Keplero i suoi dati, sperando che la genialità matematica dell'astronomo tedesco riuscisse ad aver ragione di tutte le discrepanze e a dimostrare la validità del suo modello.

I due si erano incontrati per la prima volta a Praga, da esuli, nel 1600. Tycho aveva dovuto lasciare Hven tre anni prima, a causa di una serie di contrasti col re Cristiano IV di Danimarca, succeduto al padre Federico II, che si erano protratti e ingigantiti nel tempo, fino a far prendere al sovrano la decisione estrema di togliergli l'isola. Così, dopo aver girato per un paio di anni attraverso un'Europa contesa fra le diverse confessioni e lacerata da continui dissidi religiosi, nel 1599 era riuscito a ottenere da Rodolfo II, imperatore del Sacro Romano Impero, un generoso stipendio e anche un castello dove poter ricostruire il suo osservatorio. Keplero, invece, sarebbe giunto a Praga l'anno successivo, dopo aver dovuto abbandonare Graz che, da cittadina in cui le religioni cattolica e luterana avevano convissuto pacificamente, era precipitata nella spirale dell'integralismo cattolico. In realtà, Tycho aveva già intrattenuto una corrispondenza epistolare con Keplero e qualche anno prima l'aveva addirittura invitato a Hven, in segno di ringraziamento per la copia del *Mysterium cosmographicum* che l'astronomo tedesco gli aveva inviato in dono, similmente a come aveva fatto con Galilei.

Keplero avrebbe voluto andare a Hven, perché era estremamente interessato

all'ingente mole di dati osservativi di Tycho, con cui era convinto che sarebbe riuscito a verificare la validità del modello platonico-eliocentrico, che aveva proposto nel *Mysterium cosmographicum*, ma il suo stipendio di professore a Graz gli consentiva a malapena di sopravvivere, vedendolo costretto a doversi dedicare alla più redditizia attività degli oroscopi, per cui, a malincuore, aveva dovuto declinare l'invito.

A Praga, Tycho fece appena in tempo a consegnare tutti i suoi dati nelle mani di Keplero, pregandolo di mostrare con questi la validità del modello che aveva proposto come alternativa a quelli di Tolomeo e di Copernico, perché morì appena un anno dopo quell'incontro.

Il lavoro di Keplero durò diversi anni, ma non produsse né il risultato in cui aveva sperato Tycho, né, tanto meno, quello desiderato da Keplero: le osservazioni effettuate da Tycho su Marte erano talmente precise da mostrare senza ombra di dubbio, che era impossibile riprodurre l'orbita particolarmente ellittica di questo pianeta, attraverso la composizione di moti circolari.

Così, Keplero, a malincuore, si era visto costretto a rinunciare alla tanto desiderata perfezione della forma sferica e a enunciare nel suo *Astronomia Nova*, pubblicato nel 1609, le prime due leggi, che avrebbero portato in seguito il suo nome anche se nella sua opera quella che per noi è la seconda legge, nota anche come la "legge delle aree", era la prima ed era scritta in un modo molto confuso. La seconda legge, al contrario, era stata scritta con l'esatta formulazione con cui la conosciamo oggi come la prima legge di Keplero.

La pubblicazione del *Sidereus Nuncius* di Galileo avveniva dunque nel 1610, l'anno successivo a quello de l'*Astronomia Nova* in un momento in cui l'eliocentrismo pareva essere finalmente uscito dall'oblio e sul punto di conquistare il primato, che sarebbe spettato di diritto a un modello formalmente più elegante di quello di Tolomeo e che, grazie al lavoro di Keplero, cominciava a mostrare di accordarsi molto meglio alle osservazioni.

Tutto avrebbe quindi lasciato supporre che lo scienziato pisano si sarebbe finalmente sbilanciato in favore di quello che riteneva essere il modello giusto da diverso tempo, ma in realtà non fu così. La posizione di Galileo rimase ancora improntata a quella cautela che aveva già manifestato nella lettera a Keplero 13 anni prima, anche se nel *Sidereus Nuncius* risulta evidente che egli non temeva

più di poter perdere la propria credibilità scientifica, ma piuttosto di poter divenire oggetto di persecuzione da parte della Chiesa che, in seguito al Concilio di Trento, aveva assunto un atteggiamento di totale difesa della propria ortodossia e delle Sacre Scritture.

Del resto, quando il *Sidereus Nuncius* vide la luce, erano trascorsi appena 10 anni dalla brutale esecuzione di Giordano Bruno, un domenicano che, dopo essere stato condannato per eresia, era stato bruciato nella piazza di Campo dei Fiori, a Roma. Quello che Giordano Bruno aveva sostenuto non era solo il sistema proposto da Copernico, ma addirittura la possibilità che esistessero infiniti Sistemi Solari come il nostro: un Universo infinito e popolato da “infiniti mondi”.

È probabile che Galileo sapesse che Giordano Bruno non era stato messo al rogo soltanto per la sua posizione, peraltro modernissima, relativa all’astronomia, ma per questioni che andavano a minare alle radici i capisaldi della teologia cristiana, essendo egli riuscito a ottenere l’insolito primato di tre scomuniche, una da ciascuna delle tre diverse confessioni religiose, la cattolica, la luterana e la calvinista, che si stavano aspramente combattendo in tutta l’Europa. Nonostante questo, l’esecuzione, a cui aveva fatto seguito la dispersione delle ceneri dell’eretico nel Tevere, non poteva non incutere più di un timore a Galileo.

La lettura del *Sidereus Nuncius* lascia dunque emergere l’impressione di uno scienziato che racconta in modo quasi impersonale i risultati delle sue osservazioni, evitando di sottolineare, in alcun modo, che quanto egli aveva visto avrebbe potuto costituire la solida base sperimentale, su cui fondare il modello eliocentrico. Galileo sembra proprio voler evitare accuratamente qualsiasi riferimento al fatto che le sue osservazioni possano mostrare al mondo come stanno effettivamente le cose.

La discussione sulla natura della Luna è talmente densa di dettagli e di dimostrazioni matematiche, volte a esemplificare il metodo che gli aveva consentito di stimare l’altezza dei monti del nostro satellite naturale, che il lettore perde di vista il “nocciolo della questione”, ossia che lo scienziato era riuscito a provare che la natura della Luna era del tutto simile a quella della Terra, mentre secondo Aristotele ai corpi celesti erano precluse tutte le imperfezioni che caratterizzavano il mondo sublunare.

Anche nel descrivere con grande accuratezza la differenza fra le immagini che il suo cannocchiale aveva prodotto per le stelle e per i pianeti (ovvero che, mentre gli

ultimi risultavano ingranditi, le prime aumentavano soltanto in luminosità, mantenendo la propria dimensione apparente inalterata), Galileo evita accuratamente di sottolineare che questo provava quanto gli eliocentristi di ogni epoca avevano sempre sostenuto, ma non avevano potuto dimostrare, ossia che le stelle erano molto più lontane dei pianeti.

L'unico accenno esplicito all'eliocentrismo è nel commento (con cui si è voluto aprire il capitolo) che egli scrive in relazione alla sua scoperta, ovvero al fatto che, per primo, utilizzando un *occhiale*, che ha potuto realizzare per «illuminazione della divina grazia», è riuscito a vedere quattro pianeti orbitanti attorno a Giove. Questo era la conferma del fatto che la Terra e la sua Luna non costituivano un caso speciale e si poteva tranquillamente togliere la Terra dal centro.

Quello che Galileo non scrisse, probabilmente perché pensò di essersi già sbilanciato troppo a favore dell'eliocentrismo con il commento di cui sopra, è che la scoperta dei quattro astri medicei inferiva un terribile colpo al modello di Tycho (che per la verità non aveva avuto un grande successo al di fuori dell'ambiente di stretta osservanza luterana), poiché la presenza di un secondo centro in quel sistema eliocentrico, che Tycho aveva voluto mettere in rotazione attorno alla Terra, sarebbe risultata alquanto difficile da giustificare.

La cautela con cui Galileo aveva scritto il *Sidereus Nuncius* parve funzionare, perché quell'opera non provocò né polemiche, né clamori, tuttavia, quattro anni dopo la sua pubblicazione, il 21 dicembre del 1614, lo scienziato venne accusato direttamente da un predicatore domenicano, Tommaso Caccini, dal pulpito della chiesa di Santa Maria Novella, a Firenze. Il frate, giocando sull'ambiguità di una celebre frase degli *Atti degli apostoli* – «Viri galileai, quid statis adspicientes in caelum?», ovvero «Uomini di Galilea, perché state a guardare il cielo?», riferita ai discepoli di Gesù che, dopo aver assistito alla sua ascensione, continuavano a tenere gli occhi rivolti al cielo – volle, invece, scagliare una pubblica accusa a Galileo e ai suoi sostenitori, ossia agli «uomini galileiani».

La posizione eliocentrista di Galileo era, del resto, ben nota ed egli, già in passato, aveva esposto delle ipotesi, che andavano a minare quel pensiero aristotelico che, grazie alla rilettura di san Tommaso, si era trasformato in una sorta di «struttura portante» della teologia. Ancora quando era, per volontà del padre Vincenzo, uno studente di medicina dell'Università di Pisa, aveva teorizzato che, in assenza di

attrito, la velocità di caduta di un corpo non sarebbe dipesa dalla sua massa, ma soltanto dall'altezza da cui veniva lasciato cadere. Questo significava, in contrasto con quanto asserito da Aristotele – secondo cui i corpi si muovevano, seguendo una linea retta, verso il loro luogo naturale, con una velocità che era direttamente proporzionale alla loro massa – che una palla di cannone e una piuma, lasciate cadere da un'ideale torre di Pisa collocata nel vuoto, ossia in assenza dell'attrito provocato dall'aria, sarebbero arrivate a terra nello stesso istante.

Tommaso Caccini non si limitò a quella frase rivolta platealmente dal pulpito della chiesa, perché alcuni mesi dopo denunciò Galilei al Sant'Uffizio, un organo che era stato istituito nel 1542 da papa Paolo III, con lo scopo di «mantenere e difendere l'integrità della fede, esaminare e proscrivere gli errori e le false dottrine», e il cui nome originale era “Sacra Congregazione della romana e universale Inquisizione”. Caccini accusò Galilei di aver scritto, in una lettera inviata al suo amico e collaboratore Benedetto Castelli, monaco benedettino, che la Terra si muoveva mentre il Cielo stava fermo.

La posizione che Galileo nutriva nei confronti delle Sacre Scritture era che non si dovessero prendere “alla lettera”, perché il loro compito era quello di risultare comprensibili a un pubblico vasto. In questo senso, anche l'invocazione di Giosuè non doveva essere considerata una verità assoluta e indiscutibile, ma piuttosto un modo di raccontare gli eventi, aderendo a quella che era – ed è tuttora – l'impressione comune, ovvero che sia il Sole a ruotare attorno alla Terra e non viceversa.

Così pensando, e rendendo noto il suo modo di pensare, nel tentativo di difendersi dall'accusa che Caccini gli aveva rivolto pubblicamente, Galileo si era avventurato nell'insidioso terreno della teologia, spingendosi addirittura ad affermare, in una lettera inviata nel marzo del 1615 alla granduchessa madre Cristina di Lorena, che «l'intenzione dello Spirito Santo era insegnare agli uomini come si possa andare in Cielo, e non come vada il Cielo» (Galileo 1895, p. 319).

A seguito della denuncia di Caccini, il Sant'Uffizio prese in esame la teoria eliocentrica, che fino a quel momento era rimasta quasi del tutto ignorata. Galileo fu convocato a Roma nel dicembre del 1615 e, dopo aver avuto alcuni colloqui con papa Paolo V, si trovò al cospetto dell'uomo che 15 anni prima aveva mandato al rogo Giordano Bruno, il cardinale Bellarmino, che proprio dal Papa aveva ricevuto il compito di dissuadere lo scienziato dall'insegnare la teoria eliocen-

trica. Inaspettatamente, Bellarmino si mostrò abbastanza aperto e affermò che, per quanto la teoria eliocentrica andasse contro la verità indiscutibile delle Sacre Scritture, ovvero la già citata preghiera di Giosuè, egli si sarebbe mostrato pronto a reinterpretarle, qualora ci fossero state delle prove evidenti e indiscutibili contro l'immobilità della Terra. Questa posizione del cardinale Bellarmino era, del resto, già stata espressa dallo stesso in una lettera, che aveva inviato qualche mese prima, il 12 aprile del 1615, a padre Antonio Foscarini, sostenitore dell'eliocentrismo e amico di Galilei, in cui aveva affermato di non poter escludere a priori l'attendibilità della teoria eliocentrica, ma suggeriva di proporla come descrizione fisica, solo dopo che se ne avesse avuto la prova concreta e definitiva: la prefazione di Andreas Osiander all'opera di Copernico aveva evidentemente sortito l'effetto sperato da chi l'aveva scritta.

Il 24 febbraio del 1616 il Sant'Uffizio dichiarò falsa e formalmente eretica la teoria eliocentrica, pur lasciando aperta la possibilità di far riferimento a essa come semplice modello matematico e così, a più di 70 anni dalla sua pubblicazione, il *De revolutionibus orbium coelestium* di Copernico si ritrovò all'*Indice dei libri proibiti*. A seguito della decisione del Sant'Uffizio, Galileo riuscì a farsi ricevere in privato dal cardinale Bellarmino che, nell'accoglierlo, lo esortò di nuovo esplicitamente ad abbandonare la posizione copernicana e a impegnarsi di non insegnarla, né difenderla a parole o in forma scritta. Galileo, allora, chiese al Cardinale una lettera, che questi avrebbe stilato tre mesi dopo, il 25 maggio del 1616, in cui si attestava che lo scienziato non aveva ricevuto alcuna condanna, né gli era stato richiesto di abiurare, ma era stato semplicemente avvertito che la teoria copernicana era contraria alle Sacre Scritture e pertanto non andava né difesa, né divulgata.

Tutto lasciava supporre che Galileo, rientrato a Firenze, avrebbe ripreso la sua posizione più che cauta nei confronti dell'eliocentrismo e così, in effetti, fu per alcuni anni, fino a quando, nel 1623, l'elezione al soglio pontificio di Urbano VIII, al secolo Maffeo Barberini, amico e sostenitore di Galileo, fece supporre erroneamente a quest'ultimo che fosse finalmente giunto il momento di poter riabilitare il modello in cui aveva sempre creduto. Così, dopo una serie di incontri incoraggianti sull'argomento, avuti proprio col Papa, lo scienziato decise di mettere in cantiere un'opera che aveva in mente da diverso tempo: il *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*.

Scritto in volgare e non in quella che era ancora la lingua tradizionale delle opere dedicate agli studiosi, il latino, questo lavoro di Galileo, di facile comprensione e di gradevole lettura, pare proprio volersi rivolgere, com'era probabilmente nelle intenzioni dell'autore, a un vasto pubblico.

Tre sono i protagonisti del dialogo, che si svolge in un periodo temporale di quattro giorni, all'epoca già tutti defunti: Filippo Salviati, matematico fiorentino e amico di Galileo; Giovanni Francesco Sagredo, nobile e colto veneziano, che Galileo aveva conosciuto e frequentato nel periodo trascorso a Padova; infine, Simplicio, il celebre commentatore bizantino delle opere aristoteliche.

L'amicizia di Galileo con Salviati era stata molto forte. Diversi anni prima, nel 1613, ospite nella sua villa, a Lastra a Signa, lo scienziato aveva scritto il trattato *Istoria e Dimostrazioni intorno alle Macchie solari e ai loro accidenti*. Nell'opera, dedicata proprio all'amico, aveva inteso polemizzare con Christoph Scheiner, gesuita tedesco che, per salvare la perfezione del Sole, aveva sostenuto che le macchie non potessero per alcun motivo trovarsi sulla sua superficie, ma dovessero invece essere dei satelliti orbitanti attorno a esso.

Il ruolo di Salviati nel *Dialogo* è quello di illustrare il sistema di Copernico, controbattendo la teoria geocentrica sostenuta da Simplicio e correggendo le ingenuità di Sagredo che, pur essendo un uomo di grande esperienza e ampie vedute, non è un esperto in materia.

La differenza di toni, razionalità e modo di atteggiarsi mostra immediatamente che Salviati sta dando voce a Galileo, Sagredo rappresenta tutti i destinatari dell'opera e Simplicio, invece, è l'antico modo di vedere la scienza e il mondo che non ha più ragione di esistere. Il nome stesso di quest'ultimo personaggio, scelto non a caso, esprime già, in un certo senso, l'opinione di Galileo verso un tipo di attitudine che, in maniera del tutto "semplicitica", si ritiene scientifica, quando invece non lo è.

Per la prima volta nella sua vita, Galileo era uscito allo scoperto: all'atteggiamento impersonale, che aveva caratterizzato il *Sidereus Nuncius*, aveva fatto seguito, nel *Dialogo*, una presa di posizione netta, chiara, distinta e favorevole al sistema del mondo di Copernico.

Incredibilmente, l'inquisitore di Firenze, Clemente Egidi, non si accorse della rivoluzionarietà di quell'opera e, nel marzo 1631, ne autorizzò la pubblicazione.

Il *Dialogo* poté così venire alla luce, in forma di stampa, nel febbraio dell'anno successivo, ma la reazione ostile non si fece attendere molto. Nel luglio del 1632, Egidi dovette far ritirare tutte le copie in commercio e Urbano VIII, sollecitato dai gesuiti, nelle cui fila si trovavano anche diversi nemici di Galileo, ordinò che una di queste venisse inviata al Sant'Uffizio per gli opportuni accertamenti e che Galileo fosse convocato a Roma.

Due erano i gesuiti fortemente ostili a Galileo: il primo era il sopracitato Scheiner, con cui la polemica, avente per oggetto la natura delle macchie solari, si sarebbe addirittura protratta fin dopo la morte dei due protagonisti, con la pubblicazione, nel 1651, di un lavoro postumo di Scheiner; il secondo era Orazio Grassi, matematico italiano, con cui il conflitto di carattere scientifico, iniziato nel 1618, verteva, invece, sulla natura delle comete. Grassi, in particolare, non aveva perdonato a Galileo un trattato che quest'ultimo aveva pubblicato nel 1623, dedicandolo a papa Urbano VIII, e in cui aveva palesemente ridicolizzato la posizione del gesuita sulle comete.

Galileo tentò in tutti modi di non andare a Roma, adducendo una serie di scuse, che gli permisero di farsi attendere dal 28 settembre del 1632, giorno in cui aveva ricevuto la prima convocazione, fino al 13 febbraio del 1633, giorno in cui giunse a Roma, facendosi ospitare dall'ambasciatore del Granducato di Toscana. Questi riuscì a ottenere dal tribunale dell'Inquisizione il permesso di fare alloggiare l'anziano scienziato presso di lui, tra un interrogatorio e l'altro, fatta eccezione per il periodo compreso tra i primi due interrogatori, che si svolsero il 12 e il 30 aprile 1633, in cui Galileo venne tenuto nel carcere del Sant'Uffizio.

Gli interrogatori furono in tutto quattro: ai due sopracitati, se ne aggiunse uno il 10 maggio e un altro, il 21 giugno. Il Papa non intervenne a sostegno di Galileo, come quest'ultimo aveva sperato, e così, il 22 giugno del 1633, lo scienziato venne dichiarato colpevole di eresia da sette inquisitori su dieci e il *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* fu messo all'*Indice*.

Inginocchiato nella sala capitolare del convento domenicano adiacente la chiesa di Santa Maria sopra Minerva, al termine della lettura della sentenza, Galileo dovette pronunciare la dichiarazione di abiura.

In virtù di quella che all'epoca era considerata un'età veneranda – 69 anni – allo scienziato pisano fu concesso di espiare la pena agli arresti domiciliari, così, dopo

aver trascorso un breve periodo a Siena, presso l'amico arcivescovo Antonio Piccolomini, si trasferì nella villa "il Gioiello" di Arcetri, che gli era stata trovata dalla figlia suor Maria Celeste, che sarebbe morta a soli 34 anni, appena pochi mesi dopo la condanna del padre. Questi, invece, dopo aver trascorso gli ultimi quattro anni della sua vita nella totale cecità, l'8 gennaio del 1642 avrebbe lasciato definitivamente questo mondo.

All'incirca un anno³ dopo la scomparsa di Galileo, in un minuscolo paesino della Contea del Lincolnshire, sarebbe prematuramente venuto alla luce un bambino. Talmente piccolo era Isaac Newton, nato tre mesi dopo la morte del padre, che la mamma, Anna Ayscough, amava raccontare che lo si sarebbe potuto alloggiare comodamente all'interno di un contenitore da un litro. Nessuno avrebbe scommesso sulla sua sopravvivenza, invece Isaac non solo avrebbe superato la prima infanzia, ma sarebbe divenuto anche lo scienziato più importante del suo tempo, provando che la forza che legava tra loro i corpi celesti era la stessa che faceva cadere i corpi verso quello che Aristotele aveva definito il loro "luogo naturale".

Con la sua legge di gravitazione universale, che avrebbe enunciato nell'opera *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, pubblicata nel 1687 e comunemente nota come i *Principia*, Isaac Newton avrebbe dimostrato che era proprio quella stessa forza a tenere unito il Sistema Solare e a fornire la giustificazione teorica delle tre leggi che Keplero aveva ottenuto dalle osservazioni. Alle due leggi illustrate nell'*Astronomia Nova*, nel 1619 Keplero ne aveva infatti aggiunta un'altra, quella che anche oggi ci è nota come la "terza legge di Keplero", che aveva scoperto, per caso, cercando delle relazioni matematiche fra i parametri delle orbite dei pianeti. In quella relazione, che legava i quadrati dei periodi impiegati dai pianeti a percorrere le loro orbite ai cubi delle loro distanze medie dal Sole, Keplero aveva voluto vedere il segno dell'armonia che aveva sempre cercato nell'Universo e che lo aveva spinto a realizzare tanti anni prima la magnifica costruzione del *Mysterium cosmographicum*. Così nell'*Harmonices Mundi*, che aveva visto la luce nel 1619, lo scienziato tedesco era potuto ritornare, in un certo senso, alle origini, riprendendo il concetto pitagorico della "musica delle sfere", che aveva esteso alle orbite ellittiche, poiché, in virtù della variazione di velocità, che compete a ciascun pianeta, a esse potevano essere assegnate delle scale musicali diverse. Confrontando le variazioni di velocità dei diversi pianeti e associandole a delle differenze in termini di toni e

semitoni, in un contesto che legava la geometria alla musica, Keplero era riuscito a interpretare la sua terza legge.

Quasi 70 anni dopo, Isaac Newton avrebbe reso tutto molto più semplice, facendo entrare in modo definitivo l'approccio fisico – e non più solo geometrico – al “sistema del mondo”.

Il grande scienziato inglese avrebbe, infatti, mostrato come le tre leggi di Keplero fossero la naturale conseguenza dell'effetto di quella che avrebbe definito *vis impressa*, che nel caso in questione era la forza (di gravità) esercitata dal Sole su ciascun pianeta e viceversa. L'intensità di tale forza è la stessa, ma, essendo la massa del Sole molto maggiore di quella del pianeta, la *vis impressa* non produce alcun moto sul primo, mentre “costringe” il pianeta a muoversi lungo un'orbita ellittica, caratterizzata da una velocità (media) che è tanto più piccola quanto più questo è lontano dal Sole.

Attraverso un'analisi attenta delle tre leggi di Keplero, Newton avrebbe compreso che la forza di gravità doveva essere di tipo centrale, ossia diretta lungo la congiungente Sole-pianeta (una condizione che avrebbe fornito la giustificazione teorica della seconda legge di Keplero) e avere un'intensità che diminuiva al crescere del quadrato della distanza tra i due corpi (una condizione da cui sarebbero scaturite naturalmente la prima e la terza legge di Keplero).

Oltre a introdurre per primo il concetto di “forza”, Newton, riprendendo un'intuizione di Galilei, ne avrebbe anche formulato lo stretto legame con la variazione dello stato di quiete o di moto imperturbato di un corpo: in assenza di una *vis impressa*, il corpo avrebbe continuato a restare fermo oppure a muoversi con velocità costante, seguendo la propria *vis insita*, ovvero la capacità di persistere nel suo stato di quiete o di moto.

Quest'elegante interpretazione di Newton non sarebbe bastata, tuttavia, a rivalutare la figura di Galileo, il cui edificio funebre, che rende giusto onore alle sue spoglie mortali nella basilica di Santa Croce a Firenze, non avrebbe potuto essere realizzato (per opposizione del Sant'Uffizio) che nel 1737, a quasi 100 anni dalla scomparsa del grande scienziato pisano.

CAPITOLO IV

I TELESCOPI

On Tuesday the 13th of March, between ten and eleven in the evening, while I was examining the small stars in the neighbourhood of H Geminorum, I perceived one that appeared visibly larger than the rest: being struck with its uncommon magnitude, I compared it to H Geminorum and the small star in the quartile between Auriga and Gemini, and finding it so much larger than either of them, suspected it to be a comet.

Martedì 13 marzo, tra le dieci e le undici di sera, mentre esaminavo le stelle deboli nei dintorni di H Geminorum, ne ho notata una che mi è parsa visibilmente più grande delle altre: rimasto colpito dalla sua inconsueta luminosità, l'ho confrontata con H Geminorum e la stellina situata nel quartile tra Auriga e Gemini, e l'ho trovata talmente più grande di entrambe, che ho ipotizzato potesse trattarsi di una cometa.

(William Herschel, Account of a Comet, *Philosophical Transactions*, 1781)

PAROLE CHIAVE

Urano / Nettuno / Comete / Nebulose planetarie

Isaac Newton è passato alla storia per aver formulato la legge di gravitazione universale. Questa, per la verità, occupa soltanto una piccolissima parte dei tre Libri che costituiscono i *Principia*, l'opera più famosa del grande scienziato inglese, in cui egli, oltre a dare forma alle tre leggi del moto (che avrebbero costituito le fondamenta di quella parte della fisica nota come la dinamica), tratta del moto in presenza di attrito, della propagazione delle onde nei fluidi e della natura corpuscolare della luce.

A differenza di Huygens, che ne sosteneva la natura ondulatoria, Newton, da atomista convinto qual era, riteneva che anche la luce fosse costituita da piccolissimi corpuscoli. Entrambi gli scienziati, come si scoprirà molto più tardi, avevano ragione, poiché la luce mostra una natura duplice e alcuni fenomeni, come l'interferenza e la diffrazione, sono interpretabili solo assumendo una propagazione di tipo ondulatorio, mentre altri, come l'effetto fotoelettrico, non si possono spiegare, se non ipotizzando che la luce sia composta da corpuscoli infinitesimi: i fotoni.

L'interesse profondo che Isaac Newton nutriva per l'ottica è sconosciuto ai molti, così come poco noto è il fatto che quando nel 1665, a seguito della diffusione della terribile epidemia di peste a Londra, l'Università di Cambridge, dove egli studiava, venne chiusa per precauzione, dopo essere rientrato a Woolsthorpe, il suo paese natale, decise di costruirsi, da solo, un piccolo telescopio. Il "da solo" deve essere inteso nella sua accezione più totale, in quanto Newton, che era un abilissimo artigiano, cominciò a costruire il telescopio, partendo dalle lenti, che lavorò e levigò accuratamente, utilizzando un apparecchio che aveva costruito, sempre da solo, proprio per questo scopo.

Non gli ci volle molto per accorgersi che le lenti producevano uno strano effetto sulla luce, rendendo i bordi delle immagini poco definiti e soprattutto "colorati" in modo diverso. Questo fenomeno, che porta il nome di "aberrazione cromatica", si deve al fatto che i colori che compongono la luce bianca, passando attraverso il vetro, materiale di cui sono costituite le lenti, vengono "deviati" (il termine scientificamente corretto è "rifratti") in modo diverso.

È molto probabile che sia stato proprio l'aver notato la presenza di aloni colorati, distribuiti asimmetricamente attorno alle immagini degli oggetti celesti prodotte dalle lenti del suo telescopio, ad aver fatto scattare nella mente del giovane Isaac un'intuizione, che successivamente sarebbe riuscito a dimostrare, ovvero che

i colori non erano una modificazione operata dalle lenti sulla luce, ritenuta dai più (in accordo con Aristotele) bianca e pura, ma parte della luce stessa, che era costituita, in realtà, dall'insieme di tutti i colori.

Il grande incendio di Londra, scatenatosi all'inizio del settembre del 1666, segnò la fine del diffondersi della peste e così Isaac poté fare ritorno a Cambridge dove, nel 1669, a soli 26 anni, avrebbe ottenuto la prestigiosa *cattedra lucasiana* perché il titolare, Isaac Barrow, che la deteneva dal 1663, si sarebbe dimesso per lasciare il posto proprio a Newton, che riteneva essere il suo migliore allievo. Barrow era stato il primo *professore lucasiano*, in quanto la cattedra era stata istituita nel 1663, per effetto del lascito testamentario del reverendo Henry Lucas che, tra il 1640 e il 1648, aveva rappresentato l'Università di Cambridge alla Camera dei Comuni. Era facoltà del *professore lucasiano* decidere quale argomento avrebbe insegnato e la scelta di Isaac Newton sarebbe caduta sull'ottica.

Due anni prima di ricevere quella prestigiosa nomina, Newton, già a Cambridge, aveva finito di realizzare un telescopio in cui, per evitare il fastidioso fenomeno dell'aberrazione cromatica, che rendeva le immagini poco definite e confuse, aveva scelto di rimpiazzare gli elementi ottici tradizionali, le lenti, con degli specchi.

L'idea non era propriamente nuova, anche se con grande probabilità Isaac ignorava l'esistenza di un libro, intitolato *Optica Promota*, che era stato pubblicato appena pochi anni prima, nel 1663, dal matematico e astronomo scozzese James Gregory, che in quell'opera aveva descritto lo schema di un telescopio costituito da due specchi, riprendendo a sua volta un'intuizione che era già stata presentata nel 1632 da Bonaventura Cavalieri, nel trattato *Lo specchio ustorio*, e nel 1636 nella *Harmonie Universelle* di Marin Mersenne.

Newton, tuttavia, era riuscito a dare forma concreta a quello che fino ad allora era rimasto solo un progetto, costruendo un telescopio, il cui principio di funzionamento – la riflessione della luce – era diverso da quello della rifrazione, su cui si erano fondati i telescopi costituiti da lenti, il primo dei quali era stato proprio il cannocchiale di Galileo (Fig. 6).

La struttura del telescopio di Newton, inoltre, non ricalcava affatto quella suggerita da Gregory. Questi aveva previsto, infatti, che lo specchio secondario (a cui aveva dato forma di iperboloidi) fosse collocato sopra lo specchio primario (per cui aveva scelto la forma parabolica) a una distanza che gli consentisse di convogliare, per ri-

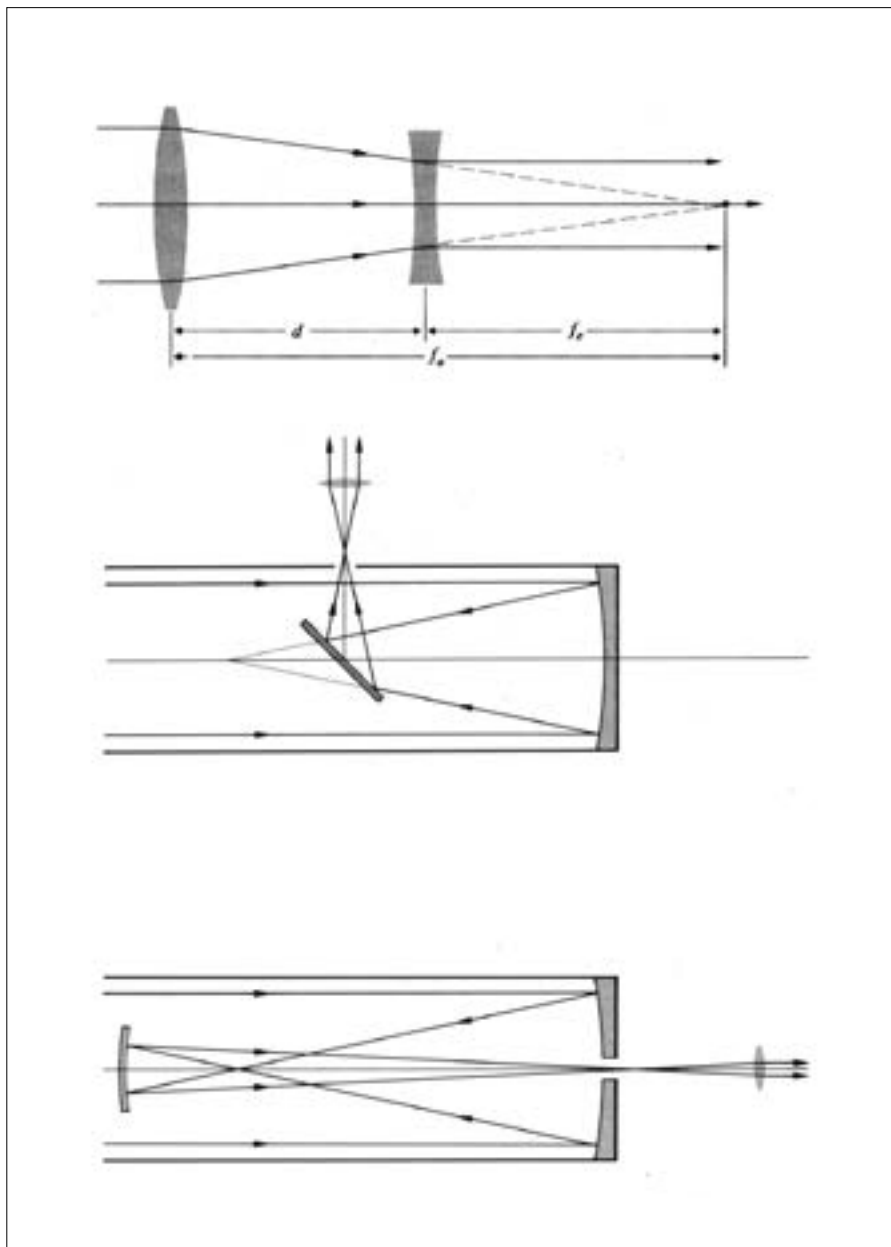


Fig. 6. Il cannocchiale di Galileo (in alto), primo rifrattore della storia, messo a confronto coi riflettori di Newton (al centro) e di Gregory (in basso).

flessione, la luce in un punto, il fuoco, che si trovava sotto il primario e in cui sarebbe stato collocato l'oculare. Lo specchio secondario di Gregory oscurava, quindi, con la sua presenza una buona parte della luce che i deboli corpi celesti inviavano verso il primario e, come se non bastasse, quest'ultimo doveva essere forato nella sua parte centrale per far sì che la luce, riflessa dal secondario, giungesse al fuoco. Newton, invece, aveva scelto una forma sferica per il primario e una forma piana per il secondario a cui aveva dato un'inclinazione di 45° . Quest'ultima gli aveva consentito sia di avere il fuoco del telescopio in una posizione laterale, posta quasi alla sommità del tubo che conteneva i due specchi, sia di rendere minima la perdita di luce provocata dalla presenza di uno specchio (il secondario) collocato entro il fascio di luce diretto a un altro specchio (il primario). Non si trattava di un vantaggio piccolo, dal momento che la funzione del primario è unicamente quella di raccogliere la maggior quantità possibile di luce, inviata dai deboli oggetti celesti.

Nel 1671, Newton presentò il suo "gioiello" ai membri della *Royal Society*, una prestigiosa istituzione che era stata fondata nel 1660 e i cui membri si riunivano settimanalmente per analizzare e discutere i risultati scientifici. Questi ultimi potevano essere presentati, in forma di lettera, da appartenenti all'associazione o anche da esterni. Se il contenuto delle lettere era ritenuto degno di essere divulgato, esse venivano pubblicate, inizialmente nella *Correspondence* e poi in seguito nelle *Philosophical Transactions*, vere e proprie antenate delle moderne pubblicazioni scientifiche.

Gli studiosi della *Royal Society* rimasero stupiti nel vedere come uno strumento, che non raggiungeva i 20 cm di lunghezza e aveva uno specchio primario di appena 3,5 cm di diametro, potesse eguagliare le prestazioni di telescopi molto più ingombranti. Del resto, la maggiore compattezza è proprio una delle caratteristiche distintive che i riflettori (telescopi costituiti da specchi) hanno nei confronti dei telescopi caratterizzati da lenti (che vengono chiamati rifrattori), in virtù del fatto che nei primi il cammino ottico della luce viene accorciato dalle riflessioni, mentre nei secondi la distanza tra le due lenti non può essere diminuita in alcun modo. A titolo di esempio, il rifrattore che Christiaan Huygens si era costruito e con cui aveva scoperto una quindicina di anni prima, nel 1655, il satellite di Saturno, Titano (che egli aveva chiamato, molto più semplicemente, *Luna Saturni*), aveva una lente, il cui diametro non arrivava ai 6 cm, e una lunghezza di più di 3 m.

Il riflettore di Newton fu accolto con interesse ed entusiasmo dai membri della *Royal Society*. Alcuni di loro iniziarono addirittura a costruirsi un proprio telescopio e Isaac si guadagnò così l'ammissione alla prestigiosa istituzione.

È singolare come Huygens e Newton, che non ebbero mai buoni rapporti, poiché si trovarono spesso in disaccordo su questioni inerenti la scienza (prima tra tutte quella relativa alla natura della luce), abbiano aperto quasi contemporaneamente l'era in cui gli occhi degli astronomi cominciarono a farsi metaforicamente sempre più grandi. Maggiore è, infatti, il diametro della lente, o dello specchio, maggiore risulta la quantità di luce raccolta e oggetti malamente percepibili a occhio nudo, se non addirittura invisibili, possono essere visti con facilità anche con lenti o specchi di dimensioni modeste. Questo, d'altronde, lo aveva già dimostrato Galileo che col suo cannocchiale era riuscito a rivelare un Universo "nuovo".

Nel giro di pochi anni, i telescopi iniziarono letteralmente a moltiplicarsi e lo strumento che Gregory non era riuscito a costruire, perché era uno scienziato maggiormente orientato verso studi teorici che sperimentali, si sarebbe diffuso in tutta l'Europa un centinaio di anni dopo, grazie all'immane lavoro di James Short, un abilissimo ottico inglese, vissuto tra il 1710 e il 1768, che nel corso di 33 anni avrebbe realizzato ben 1.360 "telescopi gregoriani". Questi strumenti sarebbero stati acquistati sia dai più importanti osservatori astronomici dell'epoca (come quelli di Harvard, Parigi, San Pietroburgo e Uppsala), sia da privati cittadini, appassionati di astronomia, il più famoso dei quali fu molto probabilmente Sir George Parker, membro del Parlamento inglese dal 1722 al 1727, noto per la sua strenua campagna a favore dell'adozione della riforma gregoriana, che sarebbe entrata in vigore in Inghilterra soltanto molti anni dopo, nel 1752. Nel suo castello di Shirburn, nell'Oxfordshire, il nobile inglese aveva allestito un osservatorio astronomico, equipaggiato proprio con un "gregoriano", che Short aveva realizzato per lui nel 1741.

Meno di 50 anni dopo, poco prima che volgesse al termine quello straordinario XVIII secolo, che avrebbe visto la nascita di macchine e tecnologie destinate a cambiare radicalmente il modo di vivere degli esseri umani, l'Inghilterra avrebbe raggiunto un importante primato astronomico: la costruzione del telescopio più grande dell'epoca. A portare a compimento una simile impresa, sarebbe stato un uomo che in quella nazione aveva trovato rifugio e fama: Sir Frederick William Herschel, che in origine, oltre a non essere nobile, non era neppure inglese.

Friedrich Wilhelm – questo era il suo vero nome – era nato il 15 novembre del 1738 in Germania, e più precisamente ad Hannover, all'epoca uno dei nove Elettorati del Sacro Romano Impero. La sua era una famiglia modesta: il padre Isaac suonava nella banda della fanteria hannoveriana, di cui faceva parte, e lo stesso destino sarebbe spettato anche a Wilhelm, che dal padre aveva appreso tutte le nozioni della musica, se nel 1756 non fosse scoppiata la Guerra dei Sette Anni, un conflitto che avrebbe coinvolto molti paesi d'Europa e in cui finanche alcuni dei frammenti di quanto restava del Sacro Romano Impero (come, ad esempio, gli elettorati di Hannover e di Sassonia) si sarebbero trovati a combattere su schieramenti opposti. Per evitare di essere chiamato alle armi, il giovane Wilhelm fuggì in Inghilterra e, giunto a Bath, si fece rapidamente apprezzare per le sue doti di violinista, suonatore di oboe e compositore. Iniziò, inoltre, a dare lezioni private e svolse anche l'attività di direttore d'orchestra. L'astronomia, però, era la sua vera passione e una ventina di anni dopo, nel 1773, decise di iniziare a studiarla come autodidatta. Riuscì talmente bene in questa impresa che l'anno successivo fu già in grado di realizzare due piccoli telescopi: un "newtoniano" e un "gregoriano". In realtà, il "newtoniano" realizzato da Wilhelm non era esattamente aderente allo schema di chi lo aveva ideato. Con l'intenzione di migliorare la qualità ottica delle immagini, egli infatti aveva sostituito lo specchio sferico, che provocava una distorsione scientificamente nota col termine di "aberrazione sferica", con uno specchio dalla forma parabolica e poi, inclinando lievemente quest'ultimo, era riuscito a far convergere direttamente la luce riflessa dal primario verso l'oculare, posizionato lateralmente al telescopio e vicino alla sommità del tubo, analogamente a quanto accadeva per il newtoniano classico. La leggera inclinazione del primario aveva permesso a Herschel di non dover utilizzare uno specchio secondario e questa modifica aveva reso il suo telescopio più potente, sia perché aveva eliminato l'ostruzione, seppure minima, provocata dalla presenza di uno specchio, posto entro il fascio di luce diretto al primario, sia perché la riflessione, operata dal secondario, provocava inevitabilmente una perdita di luce.

Un paio di anni prima che Wilhelm cominciasse a dedicarsi allo studio dell'astronomia, lo aveva raggiunto a Bath la sorella Caroline, riuscita miracolosamente a sopravvivere al tifo, che l'aveva colpita quando aveva 10 anni. La mortalità infantile, a quell'epoca, era estremamente elevata e non aveva risparmiato nemmeno la famiglia

di Isaac Herschel: quattro dei suoi dieci figli non erano, infatti, riusciti a raggiungere l'età adulta. Caroline, invece, con grande sorpresa di tutti era guarita, anche se era rimasta fisicamente lesa dalla malattia, e compiuti i 21 anni aveva deciso di andare a vivere presso il fratello. Questi, che a quel tempo si dedicava ancora integralmente alla musica, non aveva voluto impiegare la sorella esclusivamente nelle faccende domestiche, come era costume dell'epoca, ma le aveva insegnato a leggere la musica e a cantare e aveva anche fatto in modo che potesse esibirsi in pubblico, diverse volte, sotto la sua direzione. Quando, due anni dopo, decise di dedicare una buona parte del suo tempo all'astronomia, pensò di coinvolgere anche Caroline e iniziò, pertanto, a insegnarle la matematica e la trigonometria sferica.

Caroline cominciò quindi la sua attività di astronoma, affiancando il fratello nelle osservazioni, e all'inizio il suo contributo si limitò nell'annotare scrupolosamente tutto quello che Wilhelm vedeva al telescopio. Poi, col trascorrere del tempo, si fece sempre più esperta e riuscì addirittura ad aiutarlo nella costruzione degli strumenti.

Le osservazioni di Wilhelm erano iniziate nell'autunno del 1774, quando, col newtoniano modificato che si era costruito da solo e il cui specchio primario non raggiungeva gli 8 cm di diametro, aveva visto per la prima volta Saturno, rimanendone completamente affascinato. Aveva deciso, quindi, di costruire altri due telescopi, dotati di specchi primari di maggiori dimensioni, rispettivamente di 16 e 48 cm circa, capaci, pertanto, di raccogliere molta più luce di quanto potesse fare il primo.

Dalle annotazioni di Caroline risulta che il 16 e il 48 cm erano già operativi nel giardino della loro casa di Bath dall'inizio dell'estate del 1776. L'anno successivo, i fratelli si trasferirono in una nuova casa, sempre a Bath e dotata anch'essa di un giardino in cui poter collocare i telescopi. Per quattro anni, avrebbero dedicato tutte le notti di bel tempo alle osservazioni, coinvolgendo, nel ruolo di assistenti, anche alcuni degli studenti, a cui Wilhelm continuava a impartire, durante il giorno, le lezioni di musica. Con i suoi due telescopi, Wilhelm poté verificare la rotazione di Marte e di Giove e misurare l'altezza dei monti della Luna.

L'astronomo tedesco nutriva, però, un grande sogno: desiderava vedere, nello spostamento delle stelle, il riflesso del moto della Terra attorno al Sole, per poter provare così definitivamente la veridicità del modello eliocentrico.

Riteneva, erroneamente, che le stelle avessero tutte la stessa luminosità intrinseca e apparissero più o meno luminose in dipendenza dalla loro distanza dalla Terra. Più le stelle sono vicine alla Terra e, di conseguenza anche al Sole, maggiore risulta l'ampiezza del percorso che compiono annualmente in cielo, in riflesso di quello che la Terra compie attorno al Sole (Fig. 3), e le stelle che apparivano più luminose erano per Herschel le candidate ideali per la rilevazione di uno spostamento, che l'utilizzo del telescopio avrebbe reso facilmente misurabile. Le stelle deboli, invece, in quanto più lontane, avrebbero dovuto fungere da riferimento "fisso" rispetto al quale misurare lo spostamento delle stelle luminose. Quest'ultimo sarebbe stato comunque molto piccolo e, per poterlo misurare con una buona precisione, era necessario che la stella debole di riferimento si trovasse molto prossima, sulla volta celeste, alla stella luminosa.

Per questa ragione, Herschel si era messo letteralmente a caccia di deboli compagne di stelle luminose e la sera del 13 marzo del 1781, mentre col più piccolo dei suoi telescopi, quello che aveva un diametro di quasi 16 cm e una lunghezza focale di poco più di 2 m (ed era noto come il 7 piedi), stava ispezionando la regione prossima alla stella *Eta Geminorum*, ossia la settima stella in ordine di luminosità della costellazione dei Gemelli, si accorse della presenza di una stella insolita e abbastanza luminosa. Sospettato immediatamente che potesse trattarsi di una cometa (come si può evincere dal brano riportato all'inizio del capitolo), iniziò a osservarla notte dopo notte e, avendone verificato e misurato gli spostamenti, il 26 aprile del 1781 decise di annunciare la scoperta di quella nuova cometa, per la quale scelse anche il nome di *Georgium sidus*, in onore del re Giorgio III d'Inghilterra.

Il calcolo accurato dell'orbita, effettuato alcuni mesi dopo, avrebbe mostrato che non si trattava di una cometa, ma di un nuovo pianeta. Questo, tuttavia, importava poco, anzi, il fatto che Wilhelm avesse casualmente scoperto un corpo celeste che, in virtù della sua distanza da Saturno, aveva raddoppiato le dimensioni del Sistema Solare, aumentò enormemente la sua fama.

Wilhelm propose il nome di *Georgian Planet*, ma nessuno volle adottarlo al di fuori dell'Inghilterra e così, per i 70 anni successivi, il pianeta avrebbe avuto nomi diversi nei vari paesi. Soltanto nel 1850 si sarebbe raggiunto l'accordo sul nome, che l'astronomo tedesco Johann Elert Bode, all'epoca ormai defunto da 24 anni, aveva suggerito molto tempo prima e che permetteva di associare ai tre grandi pianeti

del Sistema Solare, Giove, Saturno e Urano, una sequenza di carattere genealogico. Re Giorgio III, che vantava origini tedesche, appartenendo alla casa reale degli Hannover, fu talmente felice della scoperta del nuovo pianeta che decise di assegnare a Wilhelm uno stipendio fisso, che gli consentisse di abbandonare definitivamente la remunerativa attività di musicista, per dedicarsi integralmente all'astronomia. L'unica condizione che aveva posto all'astronomo era che si trasferisse da Bath a Slough, una cittadina localizzata 5 km a nord di Windsor, in quanto da quest'ultima (che era una delle tante residenze reali) il sovrano avrebbe avuto modo di assistere, con la sua corte, alle osservazioni, ogni volta che lo avesse desiderato.

Il trasferimento a Slough di Wilhelm e Caroline sarebbe avvenuto nella primavera del 1786 e, prima di allora, Wilhelm avrebbe continuato a lavorare intensamente al suo progetto di ricerca delle stelle doppie, caratterizzate da luminosità molto diverse, lo stesso che gli aveva fatto scoprire casualmente l'esistenza del pianeta Urano. In seguito a questo lavoro, avrebbe pubblicato, nel 1782, un catalogo contenente le posizioni e le luminosità di 269 coppie di stelle, a cui, due anni dopo, ne avrebbe aggiunto un altro, contenente le stesse informazioni, per altre 474 coppie.

Nel cercare delle stelle luminose che fossero apparentemente prossime a stelle molto più deboli, Herschel non aveva potuto fare a meno di notare che, oltre alle coppie, esistevano innumerevoli sistemi, composti da cinque o sei stelle estremamente vicine tra loro e aventi luminosità che potevano essere anche molto diverse. Non gli era parso plausibile che tutti quei sistemi potessero originarsi da un semplice effetto di proiezione e così aveva pensato, correttamente, che quei gruppetti di stelle dovessero essere tenuti assieme dalla stessa forza che Newton aveva mostrato essere in azione sia sulla Terra sia nel Sistema Solare. La conseguenza di quel ragionamento lo portò a dover ammettere che le stelle che apparivano molto più luminose delle altre non erano più vicine a noi di quanto lo fossero le stelle più deboli e che la differenza in luminosità dovesse essere intrinseca e non indotta da una differenza in distanza, come aveva erroneamente ritenuto in precedenza.

Wilhelm fu così costretto a rassegnarsi all'idea che non sarebbe mai riuscito a realizzare il sogno di misurare lo spostamento annuale delle stelle, perché quelle che egli aveva ritenuto più vicine alla Terra, in quanto più luminose, erano probabilmente alla stessa distanza delle stelle deboli di riferimento, essendo parte con esse di un sistema legato gravitazionalmente. Capì, inoltre, il motivo per cui non

era mai riuscito a misurare tale spostamento: la distanza delle stelle doveva essere talmente grande da impedire al riflesso del moto della Terra di essere rilevato con la strumentazione dell'epoca.

Tuttavia, l'aver osservato che le stelle non erano distribuite uniformemente nello spazio, a differenza di quanto aveva erroneamente ipotizzato, ma costituivano dei gruppetti intervallati da regioni vuote, portò Wilhelm a comprendere che, in analogia con quanto facevano i pianeti, anche le stelle dovessero muoversi per contrastare la forza di gravità, che in assenza di un loro moto, le avrebbe fatte precipitare le une sulle altre. Pensò quindi che non c'era motivo per ritenere che il Sole non dovesse essere parte di un gruppo di stelle e pertanto soggetto anch'esso a un movimento.

Grazie a questa intuizione, si adoperò per identificare la direzione verso cui si stava dirigendo il Sole cercandone "il riflesso" nel moto di una sessantina di stelle luminose e nel 1783 individuò un punto, che chiamò *apex* e che incredibilmente è abbastanza vicino alla posizione individuata oggi, con misure molto più precise e su campioni di stelle molto più grandi, per "l'apice solare".

Quello che Herschel, tuttavia, non aveva potuto immaginare era che il moto del Sole verso l'apice era dovuto a qualcosa di molto più grande, rispetto a quanto egli aveva ritenuto: non si trattava di un movimento dovuto alla dinamica interna di un piccolo sistema di stelle, di cui il Sole avrebbe dovuto far parte, ma di una rotazione attorno al centro della galassia, che coinvolgeva, con velocità diverse – più rapide per le stelle più vicine al centro e più lente per quelle più lontane – tutte le stelle che appartenevano al "disco" della galassia. Essendo quest'ultimo la regione sottile (caratteristica delle galassie a spirale) entro cui si trovano le braccia e, nel caso della nostra galassia, anche il Sole.

Non sarebbe stato possibile, del resto, nemmeno in un'epoca come la sua, in cui gli occhi degli astronomi si erano fatti metaforicamente molto più grandi, riuscire a comprendere che nemmeno il Sole si trovava al centro, ma in una zona periferica della nostra galassia, di cui lo stesso Herschel aveva delineato, per primo, una forma, seppure molto approssimativa, sulla base di una serie di estenuanti conteggi di stelle, che aveva effettuato su 600 regioni diverse. La prima rappresentazione grafica della nostra galassia si deve, infatti, proprio a lui ed è inclusa in un articolo di 56 pagine, pubblicato nelle *Philosophical Transactions* del 1785, il cui titolo *On the*

construction of the heavens, traducibile in *Sulla costruzione dei cieli*, sarebbe molto probabilmente piaciuto a Galileo.

L'essere riuscito a contare le stelle in ben 600 regioni diverse della Via Lattea, che è la proiezione nel cielo del "disco" della galassia a cui apparteniamo e che, se osservata a occhio nudo, appare sotto forma di una grande nebulosità diffusa, aveva indotto Herschel a pensare che tutte le nebulose fossero costituite da stelle, visibili soltanto grazie al telescopio, e che la ragione per cui in molti casi le stelle non si riuscivano a vedere nemmeno col telescopio fosse da attribuirsi alla loro enorme distanza. Egli riteneva, infine, che le stelle, inizialmente disperse nello spazio, col trascorrere del tempo, per effetto della forza di Newton, finissero per concentrarsi in formazioni, che potevano apparire più o meno regolari, separate da ampie regioni di vuoto.

Anche Caroline non era rimasta inattiva nel periodo di tempo intercorso fra la scoperta di Urano e il trasferimento a Slough. Utilizzando il piccolo telescopio che il fratello le aveva donato in segno di riconoscimento per il prezioso contributo che aveva dato non solo all'identificazione del nuovo pianeta, ma all'attività astronomica di tutti quegli anni, il 27 agosto del 1783 aveva osservato M110. Questo avrebbe dovuto essere il centodecimo, e ultimo, oggetto del catalogo di Messier, se non fosse stato che, per qualche incomprensibile ragione, Messier l'aveva disegnato nello schema che includeva un altro oggetto, il trentunesimo del catalogo, M31 (noto ai più col nome di "galassia di Andromeda"), ma non lo aveva incluso nell'elenco di tutti gli oggetti del suo catalogo.

Charles Messier era un astronomo francese, dedito alla ricerca delle comete, e proprio per questa ragione aveva pubblicato, nel 1774, il *Catalogue des Nébuleuses et des Amas d'Étoiles*, in cui aveva raccolto tutti gli oggetti celesti dall'aspetto nebulare che, se osservati con un piccolo telescopio, avrebbero potuto essere scambiati per comete. Era fondamentale, per chi voleva identificare delle nuove comete, poter eliminare fin da subito i possibili candidati, che si fossero rivelati essere oggetti già noti. Lo scopo che aveva indotto Charles Messier a compilare quel catalogo era, pertanto, esclusivamente pratico e non vantava alcuna pretesa di carattere interpretativo sulla natura degli oggetti in esso inclusi, al di là del fatto che egli avesse voluto tenere distinti quelli che mostravano un aspetto nebulare da quelli che risultavano, invece, costituiti da ammassi di stelle più o meno densi. L'obiettivo perseguito da Messier era stato semplicemente quello di facilitare l'identificazione

delle nuove comete e sicuramente egli riuscì nell'intento, per quanto attenne la sua ricerca, dal momento che scoprì ben 16 comete.

Caroline aveva deciso di dedicarsi alla ricerca di nuove comete e per questa ragione aveva iniziato a utilizzare il catalogo di Messier, ma quell'oggetto, M110, che si trovava molto vicino (Fig. 7) alla nebulosa di Andromeda, perché in realtà, come sappiamo da circa 90 anni, è una galassia "satellite" di quest'ultima, e che era stato disegnato ma non catalogato, aveva attirato irrimediabilmente la sua attenzione. Così aveva deciso di osservarlo e di descrivere accuratamente quanto era riuscita a vedere di esso attraverso il suo piccolo telescopio. Non molto, per la verità, ma abbastanza per veicolare il suo interesse verso gli oggetti dall'aspetto nebulare, che all'epoca si ritenevano essere tutti parte della nostra galassia. Da quel faticoso 27 agosto 1783, Caroline iniziò a cercarli nel cielo e si accorse che sorpassavano di gran lunga il numero di 110 e si trovavano sparsi un po' ovunque. Li osservò, li descrisse e li catalogò con grande cura.

Anche Wilhelm, rassegnatosi all'idea che non sarebbe mai riuscito a misurare la parallasse delle stelle, aveva cominciato a interessarsi agli oggetti dall'aspetto nebulare e, dopo aver osservato tutti quelli del catalogo di Messier, si era messo a cercarne degli altri, probabilmente spinto anche dal fatto che quattro oggetti di quel catalogo – M27, M57, M76 e M97, che oggi sappiamo essere le uniche nebulose planetarie elencate da Messier – gli avevano fatto rivedere profondamente la sua convinzione, in base alla quale riteneva che tutte le nebulose fossero costituite di stelle.

Fu proprio Herschel a coniare il termine di "nebulosa planetaria", che utilizziamo tuttora, quando, osservando al telescopio il primo dei quattro oggetti sopra elencati, si trovò davanti un'immagine, costituita da una stella al centro, circondata da una nebulosità diffusa, che lo sconcertò non poco. Non era pensabile che la nebulosità fosse costituita da stelle, perché sarebbero state troppo più deboli della stella centrale e inverosimilmente troppo uguali tra loro. L'unica spiegazione che gli parve plausibile, per interpretare quanto stava vedendo attraverso il telescopio, fu che si trattasse di un sistema planetario in formazione e che dalla nube di gas, circostante la stella centrale, si sarebbero potuti condensare, col trascorrere del tempo, i pianeti. Questa interpretazione di Herschel riprendeva un'ipotesi che era stata formulata, nel 1755, dal filosofo tedesco Immanuel Kant (nella *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels*, ovvero *La storia universale della natura e*

la teoria del cielo), secondo la quale il Sistema Solare si era formato da una massa di gas incandescente centrata sul Sole da cui si sarebbero staccati e raffreddati tutti i pianeti. La visione di M27 parve a Herschel una sorta di verifica sperimentale dell'ipotesi nebulare di Kant e alcuni anni dopo, nel 1796, il matematico, fisico e astronomo francese Pierre-Simon Laplace, fondandosi proprio sulle osservazioni di Herschel, avrebbe dato forma organica all'intuizione di Kant (di cui non era a conoscenza) nell'opera *l'Esposizione del sistema del mondo*.

L'ipotesi di Herschel, tuttavia, non era corretta poiché il processo che è alla base della formazione di una nebulosa planetaria non ha nulla a che vedere con la generazione di nuovi pianeti, ma indica, piuttosto, quello che accade a una stella, quando ha esaurito tutto il suo combustibile nucleare e, dopo aver espulso la maggior parte del proprio gas nelle sue ultime fasi di vita, si va spegnendo piano piano, attraverso l'emissione del proprio calore residuo, mentre il gas rilasciato nello spazio costituisce la nebulosità diffusa, che le rimane attorno, continuando a espandersi e a raffreddarsi.

È probabile che sia stata proprio l'osservazione delle quattro planetarie, inconsapevolmente elencate da Messier, a far maturare in Herschel l'idea di un nuovo progetto: l'identificazione e la catalogazione di tutti gli oggetti dall'aspetto nebulare visibili nell'Universo. Il catalogo di Messier, infatti, si limitava a pochi oggetti brillanti, che non costituivano assolutamente un insieme omogeneo, e Herschel si propose di fare qualcosa di meglio: il suo catalogo, oltre a comprendere oggetti molto più deboli di quelli identificati da Messier, ne avrebbe incluso anche un'accurata descrizione e avrebbe avuto l'obiettivo di tentare di stabilire la natura delle *nebulae*, dal momento che, contrariamente a quanto egli aveva pensato in precedenza, non potevano essere tutte costituite da stelle.

La prima versione di questo catalogo fu pubblicata nel 1786 e, come recita il titolo, *Catalogue of One Thousand new Nebulae and Clusters of Stars*, conteneva un migliaio di oggetti nuovi, il cui aspetto poteva essere solamente nebulare o indicare chiaramente la presenza di un ammasso di stelle – un *cluster of stars* – che, per risultare visibile come tale, doveva essere osservato con un telescopio abbastanza potente: Messier, nel suo catalogo, ne aveva inclusi ben 56, ma non era riuscito a distinguerli tutti dalle altre nebulose.

Wilhelm e Caroline giunsero a Slough il 3 aprile del 1786 e si buttarono a capo-

fitto in una nuova straordinaria impresa: la costruzione di un grande telescopio, che il re Giorgio III aveva deciso di finanziare. Non interruppero, tuttavia, la loro intensa attività di osservazioni e fu così che il primo giorno del mese di agosto di quello stesso anno Caroline scoprì la sua prima cometa. Oltre a essere la prima cometa identificata da Caroline, che in seguito ne avrebbe individuate altre sette,

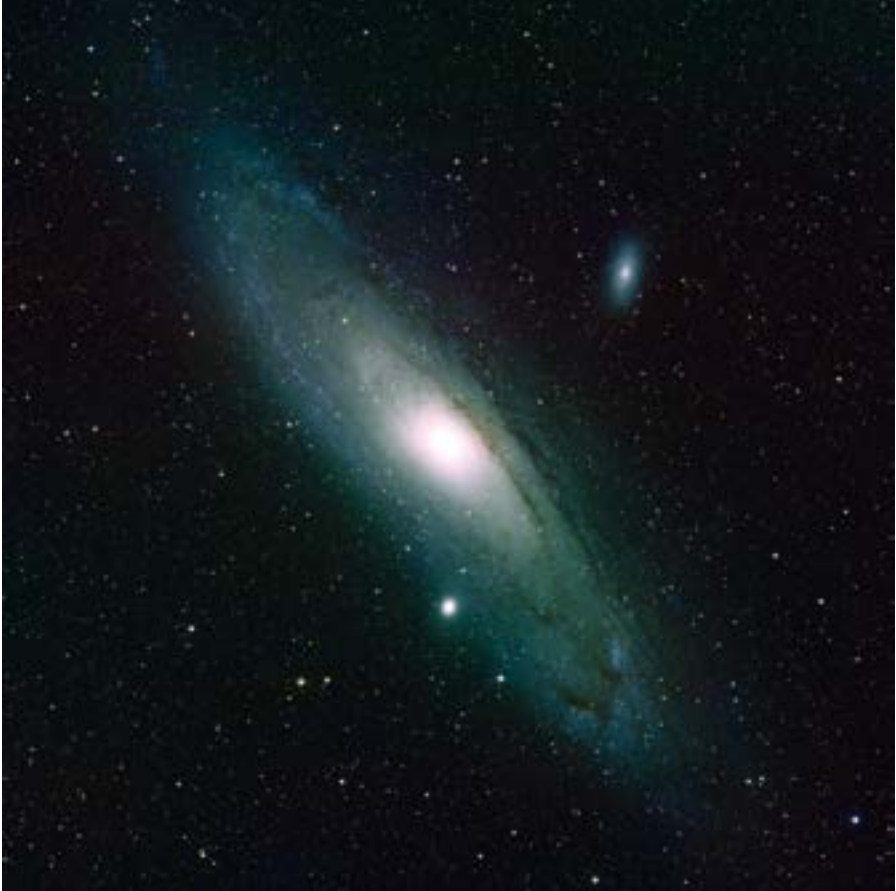


Fig. 7. L'immagine, ottenuta combinandone tre diverse, derivate da altrettante lastre fotografiche acquisite nel 1979 col Burrell Schmidt Telescope (localizzato sul Kitt Peak in Arizona), mostra la galassia di Andromeda (M31) e le sue due galassie satelliti M32 (in basso, molto prossima al centro di Andromeda) e M110 (più in alto sulla destra). Fu proprio quest'ultimo oggetto ad attrarre la curiosità di Caroline Herschel e a indirizzare i suoi studi sulle nebulose (Courtesy of Bill Schoening, Vanessa Harvey/REU program/NOAO/AURA/NSF).

era la prima cometa a essere scoperta da una donna e per questa ragione venne soprannominata “la cometa della prima donna”. Giorgio III decise di gratificare Caroline con un assegno mensile, che la qualificava come assistente ufficiale di Wilhelm e fu così che “la cometa della prima donna”, lungi dall’essere portatrice di sventure, come era, ancora a quell’epoca, diffusa credenza popolare, fece di Caroline la prima donna a essere remunerata per un lavoro di carattere scientifico. In appena tre anni, il grande telescopio di Herschel, noto anche come il 40 piedi (dotato di uno specchio di 1,20 m di diametro e avente una lunghezza focale di 12 m) vide la luce. Caroline, tuttavia, non poté assistere alle ultime fasi della realizzazione di quello strumento, né, tanto meno, alla scoperta che Wilhelm avrebbe effettuato con esso la notte del 28 agosto del 1789 quando, dopo averlo puntato in direzione di Saturno, ne avrebbe identificato “la sesta Luna”, poiché a causa di una serie di dissapori con Mary Baldwin Pitt, la vedova di un ricco commerciante londinese che Wilhelm aveva sposato nel 1788, all’inizio del 1789 si era vista costretta a prendere la sofferta decisione di abbandonare la casa in cui aveva vissuto con il fratello.

Il primo satellite di Saturno (Titano) era stato scoperto da Huygens più di 100 anni prima, nel 1655, e tra il 1671 e il 1684 Giovanni Domenico Cassini ne aveva identificati altri quattro (Giapeto, Rea, Teti e Dione). Herschel, invece, col suo grande telescopio, una ventina di giorni dopo aver scoperto la “sesta Luna” di Saturno (Encelado), il 17 settembre del 1789 avrebbe identificato anche la settima (Mimas). I sette satelliti noti di Saturno sarebbero rimasti tali per più di 50 anni e i nomi con cui li conosciamo oggi sarebbero stati suggeriti da John Herschel, il figlio che Wilhelm avrebbe avuto dalla moglie nel 1792 e che sarebbe divenuto, anch’egli, un astronomo.

Per 50 anni, il telescopio di Herschel sarebbe stato il più grande del mondo. Ammirato e glorificato come una meraviglia della scienza, sarebbe stato riprodotto in forma di disegno su diversi libri e giornali e anche su alcune medaglie. Il suo artefice, tuttavia, lo avrebbe usato di rado, preferendogli, per le osservazioni, quello molto più piccolo che, con i suoi 48 cm di diametro dello specchio e la lunghezza focale di 6 m (noto come il 20 piedi), gli aveva consentito di scoprire, l’11 gennaio del 1787, i primi due satelliti di Urano, i cui nomi, Titania e Oberon, sarebbero stati suggeriti, anche in questo caso, dal figlio John.

Il grande telescopio di Herschel era troppo ingombrante e il suo utilizzo risultava pertanto poco agevole. Inoltre, particolare affatto trascurabile, la qualità ottica delle sue immagini era peggiore di quella del 20 piedi, perché lo specchio di 1,20 m di diametro era troppo pesante e, quando non si trovava in una posizione esattamente verticale, veniva deformato dal suo stesso peso e le immagini risultavano distorte.

Wilhelm continuò quindi a cercare, col 20 piedi, nuovi oggetti dall'aspetto nebulare in cielo, aggiungendo, nel 1789, a quel suo primo catalogo, che ne conteneva 1.000 e che aveva pubblicato nel 1786, un catalogo che ne raddoppiava il numero e un altro ancora, che nel 1802 ne avrebbe elencati ulteriori 500, portando così a 2.500 il numero totale delle nuove nebulose.

Sarebbe stato John a controllare, assieme alla zia Caroline, l'elenco delle nebulose scoperte dal padre e Caroline avrebbe pubblicato il catalogo revisionato nel 1828, quando il fratello (che nel 1816 era stato insignito del titolo di baronetto per meriti scientifici) era spirato da sei anni.

Il lavoro sulle nebulose sarebbe valso a Caroline la medaglia d'oro della *Royal Society* e, sette anni dopo, l'ammissione alla prestigiosa istituzione, in qualità di socia onoraria, prima donna nella storia a ottenere (assieme a Mary Sommerville, matematica scozzese) un riconoscimento così importante.

Le ostilità tra Caroline e la cognata si erano protratte per una decina di anni, fino al 1798, anno in cui Caroline aveva presentato alla *Royal Society* la revisione del catalogo stellare, che era stato pubblicato nel 1714 da John Flamsteed, il primo astronomo reale dell'Osservatorio di Greenwich. Il catalogo conteneva 3.000 stelle e Caroline lo aveva controllato e corretto con grande precisione, fondandosi sull'enorme mole di dati che aveva ottenuto durante le lunghe campagne osservative compiute assieme al fratello. Come segno tangibile dell'avvenuta riappacificazione, Mary Baldwin Pitt aveva deciso di affidare alla cognata l'educazione del figlio John che, non a caso, sarebbe divenuto, in seguito, un astronomo.

John Herschel avrebbe condotto (a partire dal 1834, dall'Osservatorio Reale di Città del Capo, in Sudafrica, che era stato edificato nel 1820) la prima campagna sistematica di osservazioni relative all'emisfero meridionale, giungendo a identificare 2.307 nebulose e 2.107 stelle doppie. Avrebbe poi inserito i dati relativi alle nebulose meridionali nel catalogo, che la zia Caroline aveva pubblicato nel 1828

e che conteneva le 2.500 nebulose del cielo nord identificate da suo padre, realizzando così, nel 1864, il *General Catalogue of Nebulae and Clusters*, primo catalogo della storia a essere esteso su tutto il cielo. Attingendo prevalentemente ai dati inclusi in esso, l'astronomo danese John Dreyer avrebbe realizzato, una ventina di anni dopo, il *New General Catalogue*, i cui oggetti, 7.840 in totale, sono identificati dalla sigla NGC, seguita da un numero progressivo, legato alla loro posizione in cielo. Anche il catalogo di Dreyer avrebbe incluso tra gli oggetti di aspetto nebulare quelli appartenenti alla nostra galassia e quelli esterni, essendo all'epoca ancora del tutto sconosciuta la natura extragalattica di alcune *nebulae*: M31 e M110, ad esempio, sono identificate come NGC224 e NGC205, al pari delle quattro nebulose planetarie, che costrinsero Herschel a mutare la propria convinzione sulla natura stellare delle *nebulae*. Una di queste, M76, avrebbe avuto nel catalogo di Dreyer due diversi identificatori (NGC650 e NGC651), riprendendo proprio un suggerimento di Wilhelm Herschel che, nella particolare forma simmetrica che contraddistingue tale nebulosa, aveva indicato la possibilità che potesse trattarsi di un oggetto doppio. Anche M1, ovviamente, sarebbe stato incluso nel catalogo di Dreyer, non più al primo posto, ma come NGC1952, per effetto della sua posizione nel cielo.

Tornando a John Herschel, a lui sarebbe toccato anche l'ingrato compito di demolire il grande telescopio realizzato da suo padre, che dal 1815 era rimasto totalmente inutilizzato ed era divenuto un'attrazione turistica. Terrorizzato all'idea che un pezzo di ferro, corrosivo dalla ruggine, potesse cadere in testa a un visitatore e ucciderlo, John si era visto costretto a prendere quella difficile decisione.

Nel 1840, alla presenza di John Herschel e a seguito di una piccola cerimonia commemorativa, il grande telescopio di Wilhelm venne definitivamente smantellato. A testimonianza della sua gloriosa esistenza, restano oggi soltanto lo specchio, conservato al Museo della Scienza di Londra, e un pezzo del tubo, entro cui lo specchio era alloggiato, visibile nel giardino dell'Osservatorio di Greenwich.

Appena cinque anni dopo quella cerimonia, un nobile inglese, William Parsons conte di Rosse, noto anche come Lord Rosse, appassionato di astronomia, sarebbe riuscito a realizzare, con l'aiuto della moglie, Mary Field, quello che fino al 1917 sarebbe stato il telescopio più grande del mondo, nei pressi del suo castello di Birr, cittadina dell'Irlanda, situata circa 150 km a ovest di Dublino. L'Irlanda non aveva

ancora conquistato la propria indipendenza dall’Inghilterra e quindi il telescopio più grande del mondo era, a tutti gli effetti, “inglese”. Con questo strumento, che a causa delle sue dimensioni considerate all’epoca colossali – specchio di 1,80 m di diametro e lunghezza focale di 18 m – sarebbe stato soprannominato il “Leviatano”, volendo alludere con tale termine al mostro biblico, Lord Rosse avrebbe visto, per primo, il disegno a spirale in alcune *nebulae* (Fig. 8).

La presenza di tale disegno, non visibile senza l’ausilio del telescopio, sarebbe stata uno dei punti di forza di quanti, una settantina di anni dopo, avrebbero sostenuto la natura extragalattica di quel genere di nebulose.

Lord Rosse avrebbe osservato molti oggetti del catalogo di Messier, di cui le nebulose col disegno a spirale rappresentano soltanto una piccola parte, 27 in totale, riproducendo su carta tutti i dettagli che sarebbe stato in grado di identificare col suo telescopio. Di questo immane lavoro restano, oltre ai suoi disegni autografi, recanti sia la data sia i commenti, due soprannomi (utilizzati tuttora dagli astronomi) che egli volle dare a un paio di oggetti, per la somiglianza che vide con due animali: la Nebulosa del Gufo, M97, e la Nebulosa del Granchio, M1. La prima è una delle quattro nebulose planetarie incluse nel catalogo di Messier ed effettivamente, se osservata con un telescopio di medie dimensioni (quale è considerato oggi il “Leviatano” di Lord Rosse), mostra una buona somiglianza con il rapa-

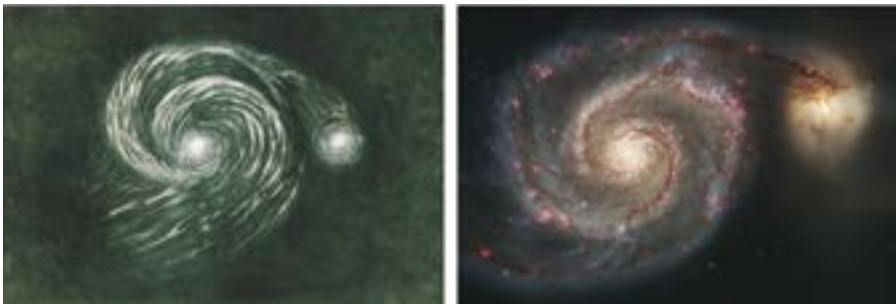


Fig. 8. La galassia a spirale M51, come disegnata da Lord Rosse nel 1845 (a sinistra) e osservata nel 2005 (a destra) in quattro diversi colori, con l’*Advanced Camera for Surveys* di *Hubble Space Telescope* (Courtesy of NASA, ESA, S. Beckwith - STScI, and *The Hubble Heritage Team* - STScI/AURA). Messier non riuscì a distinguere le due galassie e indicò con la sigla M51 l’intero complesso, costituito da una coppia di galassie (NGC5194 e NGC 5195) gravitazionalmente legate e in forte interazione.

ce notturno (Fig. 9). La seconda, invece, è il primo oggetto elencato da Charles Messier e l'unico resto di Supernova contenuto nel suo catalogo. In questo caso, la somiglianza con un granchio è molto discutibile (Fig. 10) e, oltretutto, quello

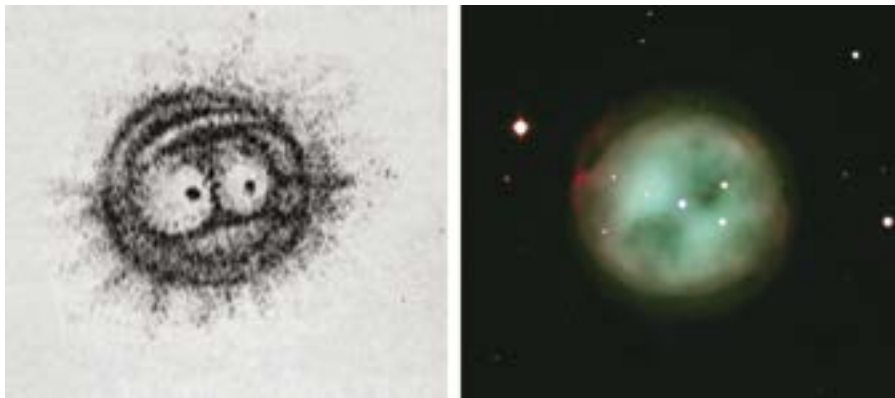


Fig. 9. M97, la nebulosa del Gufo, nel disegno di Lord Rosse del 1845 (a sinistra) e ripresa col telescopio da 90 cm (a destra) del *Kitt Peak National Observatory* in Arizona (Courtesy of NOAO/AURA/NSF).

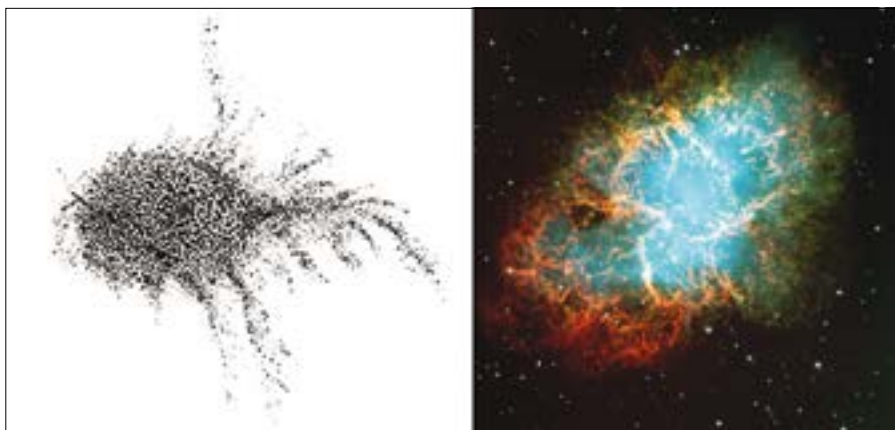


Fig. 10. La nebulosa del Granchio, M1, in un disegno di Lord Rosse del 1844, precedente l'ultima versione del *Leviatano*, che riproduce quanto egli riuscì a vedere attraverso il telescopio da 90 cm (di propria realizzazione). A destra, la nebulosa ripresa (in tre diversi colori) da FORS2, uno degli strumenti montati al telescopio UT1 dell'ESO (Courtesy of ESO) avente uno specchio del diametro di 8,2 m. Assieme ad altri tre telescopi "gemelli", UT1 fa parte della struttura nota come VLT (*Very Large Telescope*) localizzata al *Cerro Paranal*, nella parte più settentrionale del deserto di Atacama, in Cile.

che genera confusione, a chi non conosce l'origine del soprannome, è il motivo per cui la Nebulosa del Granchio, invece di trovarsi nell'omonima costellazione, il Cancro, sia localizzata in quella del Toro.

Lord Rosse non poteva avere idea di cosa fosse una Supernova, né, tanto meno, del fatto che il granchio, che a lui pareva di aver visto col suo telescopio, fosse quello che restava di un fenomeno che corrisponde all'esplosione di una stella. La misura della velocità, pari a circa 1.500 km/s, con cui tuttora continua a espandersi il gas, che un tempo apparteneva alla stella e che risulta visibile sotto forma di filamenti luminosi – quelli che Lord Rosse volle assimilare alle zampe di un granchio – aventi una temperatura tipica di 20.000 gradi Kelvin (K), avrebbe consentito, in seguito, di stimare la data dell'evento esplosivo. Tale valore avrebbe trovato conferma nelle annotazioni degli astronomi cinesi, che il 4 luglio del 1054 registrarono l'apparizione di una nuova stella, talmente luminosa da risultare visibile per più di 20 giorni nel cielo diurno e per più di 600 in quello notturno.

Incomprensibilmente, invece, in Europa non è stata reperita alcuna annotazione relativa a un fenomeno così spettacolare, come deve essere stata l'esplosione della Supernova nella Nebulosa del Granchio e a tutt'oggi non se ne comprendono le ragioni. Si ipotizza che possa essersi trattato di una forma di censura autoinflitta, in un periodo in cui sarebbe stato impensabile dover mettere in discussione l'immutabilità dei cieli, oppure che la vicinanza temporale tra il fenomeno e l'avvio del Grande Scisma (la prima grande divisione in seno alla Chiesa, tra i cristiani d'oriente e d'occidente, avvenuta il 16 luglio 1054), abbia fatto interpretare l'evento come un segno divino premonitore di chissà quali tragedie sulla Terra, suscitando, di conseguenza, un timore e un rispetto quasi reverenziale, che ne avrebbero impedito finanche la registrazione. Nessuna di queste due ipotesi, tuttavia, pare soddisfacente e il motivo della mancata annotazione dell'evento resta, pertanto, tuttora avvolto nel mistero.

All'interno di M1, la Nebulosa del Granchio, rimane anche il residuo dell'esplosione della Supernova, una stella di neutroni, ovvero un oggetto molto compatto, che non raggiunge i 30 km di diametro, costituito da neutroni letteralmente "impacchettati" gli uni sugli altri, che producono una densità difficilmente concepibile, poiché dell'ordine di un centinaio di milioni di tonnellate per centimetro cubo. Impossibile vedere un oggetto siffatto, perché è troppo piccolo e non emette luce,

ma la sua presenza, tuttavia, si rivela a noi attraverso l'emissione di un segnale radio pulsato, che ha un periodo di 33 millesimi di secondo.

Tornando al 1840, Caroline, che aveva lasciato l'Inghilterra da diversi anni, non assistette alla rimozione del grande telescopio di Wilhelm. Scomparso il fratello, aveva deciso di rientrare ad Hannover, dove aveva ottenuto molti riconoscimenti per la sua attività scientifica ed era considerata una celebrità.

Proprio nell'anno in cui venne smantellato il grande telescopio, Caroline compì 90 anni e in tale occasione ricevette dal Re di Prussia la medaglia d'oro per la Scienza. Sette anni dopo, i Principi ereditari la vollero omaggiare con una visita e lei, dopo averli intrattenuti, conversando per un paio di ore, cantò in loro onore una composizione del fratello. Meno di un anno dopo, avrebbe lasciato questo mondo, mancando per un soffio il ragguardevole traguardo dei 98 anni.

CAPITOLO V

LA DISTANZA DELLE STELLE

After so many unsuccessful attempts to determine the parallax of a fixed star, I thought it worth while to try what might be accomplished by means of the accuracy which my great Fraunhofer Heliometer gives to the observations.

In seguito agli innumerevoli tentativi falliti di misurare la parallasse delle stelle fisse, ho pensato che sarebbe valsa la pena di avvalermi della grande accuratezza dell'eliometro che Fraunhofer aveva appositamente realizzato per me.

(Friedrich Wilhelm Bessel, On the parallax of 61 Cygni A, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 1838)

La misura che Wilhelm Herschel non era riuscito a effettuare, nel corso della sua lunga vita, dedicata per gran parte all'astronomia, sarebbe stata realizzata, 15 anni dopo la sua scomparsa, da un astronomo tedesco che, per ironia della sorte, avrebbe portato il suo stesso nome, Friedrich Wilhelm Bessel.

Questi era divenuto, a soli 26 anni, direttore dell'Osservatorio Astronomico di Königsberg, cittadina nota per aver dato, quasi 90 anni prima, i natali al filosofo Immanuel Kant e per essere stata, a partire dal 1544, sede di un'importante uni-



PAROLE CHIAVE

Parallasse / Spettroscopio / Astrofisica

versità, che doveva il proprio appellativo, “Albertina”, al suo fondatore, Alberto di Prussia, lo stesso che, alcuni anni dopo aver istituito l’università, avrebbe finanziato anche la realizzazione delle tavole astronomiche, basate sul sistema copernicano, a opera di Erasmus Reinhold (cfr. capitolo II, p. 50).

Era stato sempre Alberto ad aver fondato, circa 20 anni prima di istituire l’università, il Ducato di Prussia, di cui aveva scelto Königsberg come capitale e, curiosamente, uno dei primi docenti chiamati a insegnare nell’Università Albertina sarebbe stato proprio Andreas Osiander, l’autore della prefazione anonima del *De revolutionibus orbium coelestium*.

Dopo una serie di alterne vicende, iniziate quasi immediatamente dopo la fondazione del Ducato, che avevano visto lo stesso Alberto costretto a doversi autoproclamare vassallo della Polonia, il Ducato di Prussia era riuscito a riconquistare, nel 1660, la propria indipendenza e circa 40 anni dopo, nel 1701, aveva addirittura ottenuto lo *status* di Regno.

Era stato, pertanto, proprio il re di Prussia, Federico Guglielmo III, a nominare Bessel direttore del prestigioso Osservatorio Astronomico ed egli che, come Herschel, inseguiva il sogno di poter misurare la “parallasse” delle stelle, ossia lo spostamento mostrato per effetto della rivoluzione della Terra attorno al Sole, aveva deciso di acquistare uno strumento di prim’ordine da Joseph von Fraunhofer. Quest’ultimo era un giovane autodidatta di grandissimo talento che, per una serie di coincidenze che gli si erano rivelate favorevoli, era riuscito a divenire, in breve tempo, il direttore di un istituto, la cui sede si trovava in Baviera, che in pochi anni, proprio grazie alle straordinarie capacità di Fraunhofer, aveva strappato all’Inghilterra il primato della produzione industriale di strumenti ottici.

Nell’Istituto di Ottica di Utzschneider e Fraunhofer non si realizzavano, infatti, soltanto i telescopi rifrattori, ma ogni genere di strumenti, i cui elementi ottici di base erano le lenti, come, ad esempio, quelli utilizzati per le misure geodetiche e i microscopi. Fraunhofer, dal canto suo, era un direttore del tutto particolare, braccio oltre che mente, dell’Istituto che Utzschneider, di 24 anni più vecchio, aveva voluto fondare, dopo aver compreso, a ragione, che le grandi potenzialità del giovane Joseph gli avrebbero consentito di realizzare enormi profitti.

Dotato di un ingegno fuori dal comune e di una grandissima abilità pratica, Fraunhofer aveva costruito da solo una macchina per pulire le lenti e aveva anche esco-

gitato un metodo innovativo per controllarne le regolarità, fattori determinanti per la formazione di immagini ben definite. I materiali con cui puliva e levigava le lenti, inoltre, non erano quelli utilizzati tradizionalmente, in quanto Joseph, a seguito di una lunga serie di esperimenti, ne aveva modificato in modo sostanziale la composizione, riuscendo così a migliorare in modo considerevole la qualità ottica dei prodotti finali di quella lunga lavorazione. Infine, incollando fra loro due diversi tipi di vetro, caratterizzati da indici di rifrazione che si compensavano a vicenda, era riuscito a correggere quasi totalmente l'aberrazione cromatica.

I rifrattori di Fraunhofer erano stati acquistati da numerosi osservatori astronomici d'Europa, tra i quali anche quello russo di Dorpat (l'odierna Tartu in Estonia) che, il 10 novembre del 1824, aveva ricevuto 22 casse, contenenti i pezzi del telescopio che, con la sua lente di 29 cm di diametro, sarebbe divenuto il rifrattore più grande dell'epoca.

Tra le innumerevoli caratteristiche che rendevano Fraunhofer una persona fuori dal comune, era anche la capacità di redigere istruzioni per il montaggio talmente chiare ed esaurienti da rendere in grado chiunque ricevesse i suoi strumenti di mettere insieme tutti i pezzi in modo rapido e senza bisogno della sua presenza. Così era accaduto anche a Dorpat, il cui telescopio era riuscito a vedere la prima luce il 16 novembre del 1824, appena sei giorni dopo l'apertura delle 22 casse.

Lo strumento che Bessel, invece, aveva chiesto a Fraunhofer di realizzare non era un semplice rifrattore, ma un eliometro, dotato di una lente di 16 cm di diametro. Tradizionalmente, si era tentato di misurare il piccolo spostamento delle stelle, che avrebbe dovuto riflettere il moto orbitale della Terra, utilizzando dei telescopi dotati di un micrometro filare. Quest'ultimo non era altro che un sistema, costituito da due fili, uno fisso e l'altro mobile, posti davanti all'oculare, che permetteva di leggere su una scala graduata il valore corrispondente alla distanza angolare tra due stelle. Tale valore sarebbe dovuto variare nel corso di un anno, poiché due stelle, che apparivano vicine sulla volta celeste, potevano, in realtà, essere a distanze molto diverse dall'osservatore e, in questo caso, la stella più prossima alla Terra avrebbe dovuto spostarsi, per effetto del moto di rivoluzione della Terra attorno al Sole (Fig. 3), in modo molto maggiore di quanto avrebbe fatto la stella più lontana e tale spostamento sarebbe risultato misurabile, proprio in rapporto alla posizione di quest'ultima, che avrebbe dato l'impressione di essere "fissa".

Così aveva operato anche Herschel, senza riuscire, tuttavia, a misurare alcuno spostamento significativo, sia perché il campione di stelle che aveva scelto non era quello più appropriato, sia perché la precisione che aveva potuto ottenere col micrometro filare, che aveva costruito appositamente per quello scopo, era risultata piuttosto scarsa e gli avrebbe consentito di misurare soltanto spostamenti molto superiori a quelli effettivamente mostrati dalle stelle.

Con l'eliometro, invece, la precisione sarebbe aumentata in modo notevole. Lo strumento, come suggerito dallo stesso nome, era stato pensato originariamente per effettuare misure sul Sole. In particolare, era stato Pierre Bouguer, astronomo, matematico e geofisico francese, a ideare e realizzare, nel 1748, il primo eliometro proprio con l'intenzione di misurare il diametro della "nostra stella". L'eliometro costruito da Bouguer era, sostanzialmente, un telescopio, costituito da due lenti distinte che fungevano da obiettivi, opportunamente schermate e collocate all'interno di uno stesso tubo. La lente che svolgeva la funzione di oculare, invece, era soltanto una, cosicché, guardando attraverso di essa, si sarebbero viste normalmente due immagini distinte del Sole. I due obiettivi, tuttavia, erano mobili e potevano essere avvicinati o allontanati, producendo, di conseguenza, un avvicinamento o un allontanamento delle immagini. Quando, regolando lo spostamento relativo dei due obiettivi, si fossero ottenute due immagini del Sole a contatto, la distanza fra gli obiettivi, che si sarebbe potuta leggere su una scala graduata, avrebbe fornito la misura del diametro angolare del Sole.

La descrizione dell'eliometro di Bouguer proviene dalla *Histoire de l'astronomie moderne*, pubblicata nel 1782 da Jean Sylvain Bailly che, oltre a essere astronomo e letterato, fu, dal luglio del 1789 al novembre del 1791, il primo sindaco di Parigi. Nel libro, Bailly indica come possibile uso alternativo per tale strumento quello di misurare le distanze delle stelle. Non è dato sapere se si trattasse di un'idea originale di Bailly, la cui sorte non fu delle migliori (in quanto, dopo essere stato costretto a dimettersi dall'incarico di sindaco, perché considerato troppo moderato, fu condannato a morte e ghigliottinato nel novembre del 1793), o dello stesso Bouguer, ma quello che è certo è che Fraunhofer realizzò per Bessel un eliometro di concezione assolutamente innovativa.

I due obiettivi dell'eliometro ideato da Fraunhofer non erano più costituiti da lenti distinte, ma da un'unica lente, tagliata esattamente a metà. In questo modo, quan-

do le due mezze lenti erano a contatto, producevano un'immagine singola, mentre se venivano allontanate l'una dall'altra, facendole scorrere nella direzione del taglio, producevano immagini doppie di tutti gli oggetti che si trovavano entro il campo visivo, le cui mutue distanze aumentavano al crescere dell'allontanamento delle due mezze lenti. Nel caso in cui all'interno del campo visivo si fosse trovata una coppia di stelle, sarebbe stato possibile far coincidere le immagini delle due stelle, dapprima ruotando il campo, fino ad allineare le stelle col taglio tra le due semilenti e poi spostando queste ultime con un movimento regolato da una vite micrometrica ad altissima precisione, che avrebbe permesso di ottenere una misura estremamente accurata della distanza tra le due stelle.

Soltanto un ottico della portata di Fraunhofer avrebbe potuto ideare e realizzare uno strumento di quel genere, che richiedeva, tra le altre cose, un'abilità non comune nel taglio delle lenti, qualità che di certo non gli mancava.

Bessel aveva già un buon candidato per la misura della parallasse, *61 Cygni A*, ovvero la sessantunesima stella, per ordine decrescente della luminosità, della costellazione del Cigno, parte di un sistema che a occhio nudo appare come una stella singola, ma al telescopio è distinguibile in due componenti, la *A* e la *B*, dove la prima è un po' più luminosa della seconda.

La ragione per cui Bessel aveva scelto *61 Cygni A* era nel suo elevatissimo moto proprio, pari a 5" all'anno. Questo movimento, che avviene lungo il piano tangente la sfera celeste, ossia in direzione perpendicolare alla nostra linea di vista, era stato evidenziato, nel 1804, da Giuseppe Piazzi, l'astronomo italiano che, oltre a essere stato direttore degli osservatori di Napoli e di Palermo, era noto per aver scoperto il 1° gennaio del 1801 Cerere, l'asteroide⁴ più massiccio, situato nella fascia compresa tra le orbite di Marte e di Giove.

All'epoca, non esisteva alcuna spiegazione per l'elevato moto proprio di *61 Cygni A*, ma Bessel pensò, correttamente, che se la "stella fuggitiva", così come l'aveva soprannominata proprio il Piazzi, si muoveva attraverso il cielo con una tale rapidità, questo implicava che doveva essere abbastanza vicina alla Terra da rendere possibile la misura della sua parallasse.

Lo spostamento angolare delle stelle che, se misurato lungo l'arco di un intero anno, prende il nome di "moto proprio", dipende dal fatto che esse, lungi dall'essere fisse, sono dotate di un movimento, necessario per la loro sopravvivenza. Le

stelle appartengono, infatti, a un sistema (la galassia) di corpi tenuti insieme dalla forza di gravità e se non si muovessero, analogamente a come fanno i pianeti che orbitano attorno al Sole, precipiterebbero verso il centro della galassia. Il moto proprio è misurato lungo la volta celeste, ovvero in direzione perpendicolare alla linea di vista, e risulta pertanto pari a zero per una stella che si muova esattamente lungo quest'ultima direzione.

In generale, per stabilire la velocità reale di una stella, è necessario disporre del valore di due componenti, tra loro perpendicolari, quali sono, ad esempio, le velocità tangenziale e radiale (Fig. 11), che avvengono rispettivamente lungo il piano del cielo e lungo la linea di vista, e poi sommarle tra loro “vettorialmente”, ossia tenendo in considerazione, oltre che i valori, anche i loro versi. La velocità radiale non era misurabile all'epoca di Bessel, mentre per ottenere la velocità tangenziale, dal valore del moto proprio, sarebbe stato necessario conoscere la distanza della stella, perché, a parità di moto proprio, lo spostamento reale e, di conseguenza, la velocità sono tanto maggiori quanto più la stella è lontana. Tuttavia, anche in assenza del valore della distanza, che era proprio quello che Bessel voleva determinare, si può ribaltare il ragionamento di cui sopra, in quanto, a parità di velocità delle stelle lungo la volta celeste, uno spostamento angolare maggiore corrisponde a una distanza minore. Questo era il motivo che aveva indotto Bessel, a ragione, a scegliere come candidata per la misura della parallasse “la stella fuggitiva” del Piazzzi, nonostante la scoperta di quest'ultimo, fondata su osservazioni che aveva condotto per ben dieci anni, fosse caduta praticamente nel vuoto e i pochissimi che l'avevano commentata (negativamente) avevano sostenuto che il periodo durante il quale si erano svolte le osservazioni era troppo breve per permettere di trarre delle conclusioni definitive.

Già nel 1812, Bessel aveva pubblicato un articolo, in cui aveva stimato, su basi speculative, un valore pari a 0,46”, per la parallasse annuale della “stella fuggitiva”, assumendo che fosse gravitazionalmente legata alla sua compagna, *61 Cygni B*, e ipotizzando dei valori, che aveva ritenuto plausibili, per le masse e i periodi orbitali⁵ delle due stelle. Da detti valori, aveva derivato, utilizzando la legge di Newton, la distanza tra le due stelle e dal rapporto⁶ tra quest'ultima e la separazione angolare tra le stelle (che aveva misurato al telescopio) aveva ottenuto la distanza del sistema dalla Terra. Da essa, aveva stimato il valore della parallasse annuale, p , che, per de-

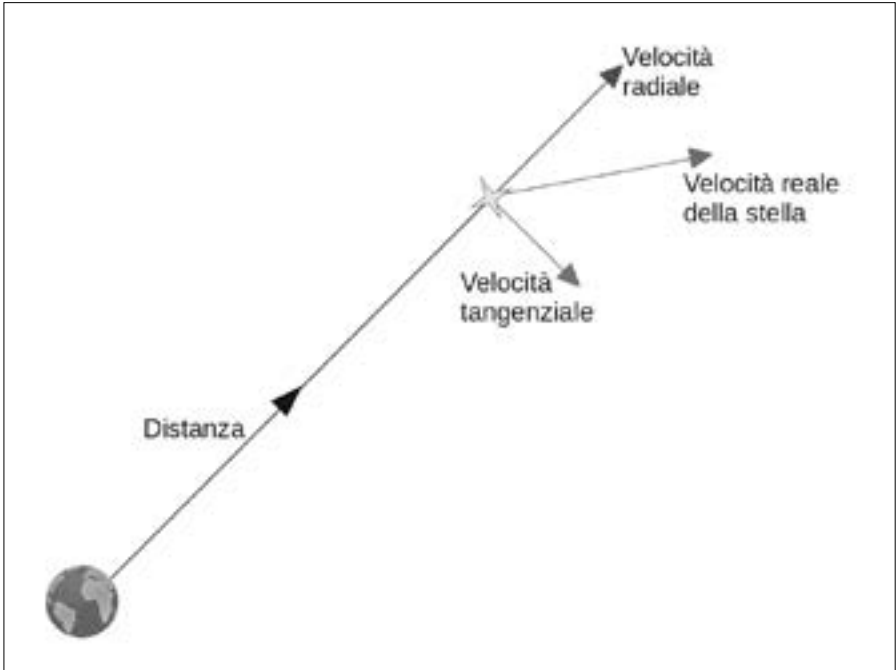


Fig. 11. La velocità reale di una stella si può ottenere sommando vettorialmente le due componenti, radiale e tangenziale. La figura non è in scala.

finizione (Fig. 3), è pari alla metà dello spostamento totale mostrato da una stella in riflessione del moto orbitale della Terra ed è legata alla distanza della stella dal sistema Terra-Sole da una relazione⁷ molto semplice, che vede p espressa in secondi d'arco e d in Unità Astronomiche (UA), essendo 1 UA corrispondente alla distanza media tra la Terra e il Sole, pari a circa 150 milioni di chilometri.

Nel 1834, Bessel cominciò a misurare la separazione fra le due stelle del sistema *61 Cygni*, con l'eliometro costruito da Fraunhofer. Se il grande moto proprio di *61 Cygni A* garantiva la vicinanza con la Terra, erano necessarie, tuttavia, molte osservazioni accurate per trovare in esso la traccia del movimento che avrebbe dovuto riflettere il moto orbitale della Terra e che, in accordo con quanto egli aveva stimato più di 20 anni prima, non avrebbe potuto nemmeno raggiungere il valore di 1", dal momento che la parallasse annuale è, per definizione, pari a metà dello spostamento corrispondente a due posizioni opposte della Terra nella sua orbita.

Misurare uno spostamento di $1''$ non era affatto un compito semplice, in quanto tale valore è confrontabile alla dimensione angolare con cui le stelle appaiono scintillare nel cielo per effetto della nostra atmosfera.

Il ritorno della cometa di Halley, fra l'agosto e il novembre dell'anno successivo, catturò l'attenzione di Bessel, costringendolo ad abbandonare la sua campagna di osservazioni su *61 Cygni A*, che riuscì a riprendere soltanto due anni dopo, nel 1837. Lungo tutto il corso di quell'anno, egli misurò la separazione tra le due componenti del sistema per decine di volte nell'arco della stessa notte e, alla fine di quella lunga serie di osservazioni, fu in grado di stabilire per la parallasse annuale di *61 Cygni A* un valore pari a $0,313''$, più piccolo di quello che aveva ipotizzato e un po' più grande del valore attualmente misurato per la "stella fuggitiva", che è pari a $0,287''$.

Un altro astronomo, tuttavia, era riuscito a misurare la parallasse di una stella poco prima di Bessel. Si trattava di Friedrich Georg Wilhelm von Struve, direttore dell'Osservatorio di Dorpat, che, utilizzando il rifrattore più grande dell'epoca costruito dallo stesso Fraunhofer, aveva trascorso molti anni a misurare, col micrometro filare, le distanze tra le stelle appartenenti a 2.714 sistemi doppi o multipli e aveva pubblicato, nel 1837, i risultati di quel lunghissimo lavoro in un'opera monumentale, intitolata *Stellarium Duplicium et Multiplicium Mensurae Micrometricae*. Sempre nel corso di quello stesso anno, von Struve aveva annunciato di essere riuscito a misurare la parallasse di Vega, che aveva scelto per la sua luminosità (in quanto tale stella è una delle più brillanti dell'emisfero boreale), per il suo moto proprio abbastanza elevato (pari a $0,35''$ /anno) e per il fatto che, essendo molto vicina al polo nord dell'eclittica (uno dei due punti di intersezione tra la perpendicolare al piano contenente l'eclittica e la sfera celeste), il suo spostamento durante l'anno sarebbe risultato molto simile a una piccola ellissi.

Il valore rilevato da von Struve risultò $0,125''$, straordinariamente simile alla misura attualmente accettata per la parallasse di Vega, pari a $0,127''$, tuttavia, quando egli si accorse che Bessel aveva trovato un valore superiore al doppio del suo, che collocava *61 Cygni A* a una distanza inferiore alla metà di quella di Vega (come si può evincere dalla relazione tra parallasse e distanza, mostrata nella nota 7), temette di aver sbagliato.

Von Struve era consapevole di essersi servito di uno strumento la cui precisione non era paragonabile a quella dell'eliometro e si sentiva, inoltre, molto insicuro

del suo risultato, poiché, a differenza di quello di Bessel, era basato soltanto su 17 misure. Così commise l'errore più grande che uno scienziato possa mai fare, ovvero quello di cambiare il valore di una misura, e annunciò per Vega una parallasse revisionata, pari al doppio del valore precedentemente annunciato. Questa terribile ingenuità ebbe come effetto il discredito totale del suo lavoro e fece guadagnare a Bessel il merito di essere stato il primo a misurare la parallasse di una stella.

Fu proprio John Herschel, che all'epoca era presidente della *Royal Society*, ad assegnare a Bessel la medaglia d'oro per la misura della prima parallasse e nel discorso con cui accompagnò l'assegnazione volle riferirsi anche ad altre due misure avvenute pressoché contemporaneamente a quella di Bessel.

Oltre a quella già citata di von Struve, che a tutti gli effetti aveva preceduto la misura di Bessel ed era stata anche più accurata, ne esisteva una terza a opera di Thomas Henderson. Questi sarebbe potuto risultare il vincitore di quella sfida, che durava da secoli ed era parsa invalicabile, se solo avesse osato un po' di più. Di origini scozzesi, Henderson aveva lavorato all'Osservatorio Reale del Capo di Buona Speranza e da quel luogo, diversi anni prima dell'annuncio di von Struve e di Bessel, era riuscito a misurare la parallasse di *Alpha Centauri*, una stella molto luminosa, visibile dall'emisfero australe e caratterizzata da un elevato moto proprio. *Alpha Centauri*, che a occhio nudo non è distinguibile dalla sua compagna un po' meno luminosa, *Beta Centauri*, è per l'esattezza la terza stella in ordine di luminosità dell'emisfero australe: più brillanti di lei risultano soltanto Sirio, visibile anche dall'emisfero boreale, e Canopo, che invece si può vedere nelle regioni settentrionali aventi latitudine inferiore o uguale a $35^{\circ} 30'$, corrispondente, per quanto riguarda l'Italia, all'isola di Lampedusa.

Il valore che Henderson aveva derivato per la parallasse, pari a $1,16''$, tuttavia, gli era sembrato eccessivo e, inoltre, egli era consapevole che la sua misura era affetta da un errore abbastanza grande, che aveva stimato essere di $0,11''$, per cui, dopo aver controllato più volte il suo risultato, si era deciso ad annunciarlo soltanto nel 1839, giungendo così secondo, dopo Bessel. Henderson non aveva avuto tutti i torti a dubitare della sua misura, poiché, in effetti, aveva sovrastimato la parallasse di *Alpha Centauri*, che in realtà è significativamente più piccola e pari a $0,747''$.

Dalla relazione che lega la parallasse di una stella alla sua distanza dal Sole (ripotata nella nota 7) si può trovare che gli $0,747''$ di *Alpha Centauri* la collocano a

276.124 UA, gli 0,287" di *61 Cygni A* a 718.693 UA e i 0,127" di Vega a 1.624.134 UA e che pertanto la stella più vicina, *Alpha Centauri*, si trova a una distanza che è di quasi 300.000 volte superiore alla distanza media fra la Terra e il Sole. Un valore, quest'ultimo, che Copernico non era riuscito nemmeno a immaginare, in quanto il suo aver collocato le stelle troppo lontane, affinché se ne potesse misurare la parallasse, corrispondeva a una distanza di poco superiore a 1.000 UA, come si può verificare dalla relazione mostrata nella nota 7, utilizzando per p un valore dell'ordine di 180", equivalente a 3', che era quanto di meglio si sarebbe potuto misurare all'epoca, a occhio nudo e senza l'ausilio di un telescopio.

Se volessimo esprimere in chilometri la distanza che ci separa da *Alpha Centauri*, dovremmo usare un numero costituito da ben 14 cifre, pari all'incirca a 41.420 miliardi di chilometri, che potremmo definire, a ragione, "astronomico" nonostante *Alpha Centauri* sia una stella molto vicina, così vicina da essere stata considerata, per quasi 100 anni, la stella più prossima al Sole e di conseguenza anche alla Terra.

Nel 1915, un altro astronomo scozzese, Robert Innes, dallo stesso osservatorio in cui aveva operato Henderson, avrebbe scoperto che una stella molto debole e collocata a una notevole distanza angolare (dell'ordine di 2°) da *Alpha* e *Beta Centauri* aveva un moto proprio del tutto simile a quello delle altre due e, sebbene la separazione angolare rendesse difficile immaginare che la stellina potesse essere gravitazionalmente legata ad *Alpha* e a *Beta Centauri*, l'uguaglianza dei moti propri era una forte evidenza a sostegno di tale ipotesi e Innes suggerì per la stellina il nome di *Proxima*, volendo sottintendere con esso proprio l'appartenenza al sistema delle altre due stelle. Due anni dopo, l'astronomo olandese Joan Voûte, direttore dell'Osservatorio Astronomico di Johannesburg, in Sudafrica, sarebbe riuscito a misurare la parallasse della stellina e il nome *Proxima* si sarebbe rivelato più che azzeccato, anche se non in precisa coerenza con le intenzioni di Innes, in quanto, con la sua parallasse di 0,768" essa rimane a tutt'oggi la stella più vicina al Sole.

All'epoca in cui Voûte avrebbe misurato la parallasse di *Proxima Centauri*, gli astronomi avevano iniziato a utilizzare, da alcuni anni, un'unità di misura per le distanze delle stelle, non solo più adatta a rappresentarle, ma anche più direttamente legata alla parallasse. Era stato l'astronomo inglese Herbert Hall Turner a coniare il termine *parsec*, risultante dalla contrazione composta delle due parole

“parallasse” e “secondo”, proprio per indicare la distanza di una stella, a cui compete una parallasse pari a 1”. Come si può verificare (dalla relazione riportata nella nota 7) a una parallasse p di 1” corrisponde una distanza d di 206.265 UA e quindi 1 *parsec* (pc) equivale proprio a tale valore e, di conseguenza, il rapporto $1/p$ fornisce direttamente il valore della distanza d , in *parsec*.

Esprese in *parsec*, le distanze delle quattro stelle *Proxima Centauri*, *Alpha Centauri*, *61 Cygni A* e *Vega* risultano pari a 1,30, 1,34, 3,48 e 7,87, valori che riescono a darci immediatamente la percezione, molto meglio di quanto possano fare se espressi in UA, delle loro distanze relative, ossia del fatto che *Vega* si trova a una distanza dal Sole che è pari a più del doppio di quella a cui si trova *61 Cygni A* ed è più di cinque volte maggiore di quelle a cui si trovano *Proxima* e *Alpha Centauri*. Abbastanza vicina al *parsec*, come valore, è un'altra unità, che viene utilizzata talvolta dagli astronomi per esprimere le distanze degli oggetti che si trovano all'interno della nostra galassia, ovvero l'*anno luce* (al). Contrariamente a quanto si potrebbe pensare, l'*anno luce* non è una misura di tempo in quanto corrisponde alla distanza che la luce, che viaggia alla ragguardevole velocità di circa 300.000 chilometri al secondo, percorre in un anno, il cui valore, espresso in secondi, risulta pari a 31.557.600. Moltiplicando i due numeri, si ottiene che 1 al corrisponde a poco meno di 9,461 miliardi di chilometri, ovvero all'incirca a 63.241 UA e, poiché 1 pc corrisponde a 206.265 UA ne consegue che 1 pc si traduce all'incirca in 3,26 al . Dalla relazione tra *parsec* e *anno luce* si possono derivare le distanze delle quattro stelle, espresse in quest'ultima unità, che risultano rispettivamente pari all'incirca a 4,24, 4,37, 11,34 e 25,66. Similmente a quanto accade se si utilizzano i *parsec*, tali valori forniscono una migliore percezione delle relazioni tra le distanze di quanto possano fare le UA.

L'utilizzo dell'*anno luce* offre, inoltre, un vantaggio non piccolo, in quanto, pur essendo un'unità di misura delle distanze e non del tempo indica, tuttavia, anche il momento in cui il segnale luminoso, che riceviamo sulla Terra, è partito dalle stelle. Queste ultime, quindi, lungi dall'essere fissate a una volta celeste eterea e cristallina, come avevano creduto per molti secoli gli uomini, mostrano ogni notte un'immagine appartenente a un passato, che si fa sempre più remoto quanto più aumenta la loro distanza dalla Terra.

Il cielo che vediamo la notte è quindi un insieme di “altri mondi”, ciascuno carat-

terizzato da una diversa età, con cui difficilmente potremo entrare in contatto. Se inviassimo un segnale radio verso una stella, con la speranza che attorno a essa si possa trovare in orbita un pianeta abitato da una civiltà capace di raccogliarlo e di risponderci, il tempo impiegato dal segnale per raggiungere il pianeta avrebbe un valore, espresso in anni, pari, all'incirca, a quello della distanza della stella, espressa in *anni luce*, e lo stesso tempo impiegherebbe il segnale di risposta dell'ipotetica civiltà aliena per arrivare sulla Terra. Infatti, le onde radio, che utilizziamo da circa 100 anni per trasmettere le informazioni, sono parte, come la luce, della radiazione elettromagnetica e viaggiano attraverso lo spazio con la stessa velocità.

In realtà, le quattro stelle, di cui sopra, non sono poi così lontane e, specialmente le prime tre, ci consentirebbero di scambiare segnali radio entro tempi che sono ben inferiori alla durata media della vita umana e quindi un'ipotetica civiltà aliena, che avesse un livello di evoluzione tecnologica comparabile o superiore alla nostra, sarebbe in grado di entrare in contatto con noi.

Lo stesso sarebbe possibile per gli abitanti di un ipotetico pianeta orbitante attorno a Sirio (la stella venerata dagli antichi Egizi e temuta invece dai Greci e dai Romani), che dista dal Sole soltanto 8,6 *al*. Riguardo a Sirio, fu ancora Bessel a suggerire, nel 1844, sulla base delle variazioni di moto proprio che aveva osservato nel corso degli anni, che potesse avere una compagna, invisibile con i telescopi dell'epoca. Tale compagna, molto meno luminosa, a cui è stato attribuito il nome di Sirio B, sarebbe stata osservata per la prima volta una ventina di anni dopo, nel 1862, dall'astronomo statunitense Alvan Graham Clark.

Molto più diluita nel tempo risulterebbe l'eventuale comunicazione con gli abitanti di un pianeta che si trovasse a orbitare attorno alla stella Arturo (il "guardiano dell'orso", cfr. capitolo I, p. 31), la cui distanza dal Sole, pari a 36,7 *al*, comporterebbe, nel migliore dei casi, un solo scambio di messaggi nel corso di una vita umana, mentre chi inviasse il proprio messaggio in direzione di Aldebaran, la stella più luminosa della costellazione del Toro, non riceverebbe mai una possibile risposta, in quanto la stella si trova a 65 *al* dal Sole. La situazione non sarebbe migliore per le sette stelle più luminose dell'Orsa Maggiore, quelle che costituiscono il Carro, le cui cinque più vicine al Sole hanno distanze dell'ordine degli 80 *al*, mentre le altre due si trovano a distanze che rispettivamente raggiungono e superano di poco i 100 *al*.

La Stella Polare, la più luminosa della costellazione dell'Orsa Minore, attorno

a cui paiono ruotare, nel corso della notte, le stelle circumpolari dell'emisfero boreale, si trova, invece, a una distanza che supera i 400 *al* e a una distanza simile, più precisamente pari a 440 *al*, sono localizzate le Pleiadi, mentre molto più lontane sono le due stelle più luminose della costellazione di Orione, *Alpha* e *Beta Orionis*, meglio note come Betelgeuse e Rigel, che distano dal Sole rispettivamente 620 e 860 *al* circa.

Fa una certa impressione guardare le due stelle di Orione e pensare che la luce che ci giunge oggi è partita da Rigel 240 anni prima che da Betelgeuse, ma che, in entrambi i casi, quando ha lasciato le stelle, qui, sulla Terra, eravamo ancora nel Medioevo.

Molto più lontana di Betelgeuse e Rigel è Deneb, la cui distanza dal Sole supera di poco i 2.600 *al*, un valore che ci può apparire spaventosamente grande anche se, in realtà, esistono stelle molto più lontane che si collocano all'estremo confine della nostra galassia e le cui distanze da noi possono superare ampiamente i 50.000 *al*, dal momento che la galassia si estende all'incirca per 100.000 *al* e il Sole non è localizzato nel suo centro. Non è facile, tuttavia, vedere queste stelle lontanissime, nemmeno con i grandi telescopi, perché la loro luce risulta fortemente attenuata dalla distanza. È molto più semplice identificare, invece, le strutture che hanno dimensioni superiori a quelle delle singole stelle, quali sono gli ammassi, in cui esse si raggruppano per effetto della forza di gravità, sia perché sono molto più grandi delle stelle e quindi visibili a distanze molto maggiori, sia perché sono molto più luminose in quanto la loro luce risulta composta dalla somma di tutte le stelle che ne fanno parte.

Quattro ammassi di stelle sono addirittura identificabili a occhio nudo. Due di questi, *h* e χ *Persei*, si trovano nella costellazione di Perseo (come suggerito dal loro nome) e sono visibili da tutto l'emisfero boreale e dalle regioni dell'emisfero australe, aventi latitudine superiore a -33° . I due ammassi sono detti "aperti", a causa della loro forma irregolare e della loro scarsità di stelle. Nonostante questo, la loro composizione stellare risulta evidente anche senza l'ausilio di un telescopio ed è nota fin dall'antichità: il primo che registrò la loro esistenza fu, infatti, Ipparco di Nicea nel 130 a.C.

La distanza dal Sole di *h* e χ *Persei* (7.500 *al*) è molto maggiore di quelle delle singole stelle che si possono vedere a occhio nudo e, nel guardarli la notte, dovremmo

pensare che l'immagine che riusciamo a cogliere ora è partita più di tre millenni prima che le grandi civiltà del bacino del Mediterraneo e dell'area medio-orientale avessero iniziato a svilupparsi qui, sulla nostra Terra.

Ancora più lontani di β e γ *Persei*, sono *47 Tucanae* e *Omega Centauri*, due ammassi che, per la loro forma regolare e ricchezza di stelle, sono detti "globulari" e distano dal Sole 13.000 e 16.000 *al*. Visibili, oltre che dalle regioni che appartengono all'emisfero australe anche (seppure più bassi sull'orizzonte) dalle regioni boreali, aventi latitudini rispettivamente inferiori a 23° e a 40°, appaiono, a occhio nudo, sotto forma di una stella molto grande e sfocata.

In effetti, *Omega Centauri* fu ritenuto essere una stella fino a quando, nel 1677, Edmond Halley (noto ai più per aver compreso che la cometa che avrebbe in seguito portato il suo nome aveva un periodo di rivoluzione attorno al Sole di circa 76 anni) osservandolo dall'isola di Sant'Elena con un cannocchiale, non riuscì a distinguere le stelle, ma ne affermò la natura nebulare. Sarebbero dovuti trascorrere 150 anni prima che l'astronomo scozzese James Dunlop, dall'Osservatorio di Paramatta, cittadina dell'Australia, localizzata in prossimità di Sydney, descrivesse, nel 1827, *Omega Centauri* come un globo di stelle che si concentra gradualmente verso il centro. La composizione stellare di *47 Tucanae* fu stabilita, invece, molto tempo prima, nel 1750, dall'astronomo francese Nicolas-Louis de Lacaille, durante una spedizione astronomica al Capo di Buona Speranza.

La maggior parte delle nebulose, siano esse di natura galattica, come i resti di Supernova, nebulose planetarie o regioni in cui si formano le nuove stelle, oppure galassie esterne, non è visibile a occhio nudo. Per poter osservare questi oggetti, occorre dotarsi di un telescopio equipaggiato con un rivelatore, capace di accumulare il segnale luminoso su un periodo di tempo, più o meno lungo, in dipendenza dal tipo di sorgente che si sta osservando e dal genere di dettaglio che si vuole identificare. L'occhio dell'astronomo riceve, grazie al telescopio, molta più luce di quanta ne possa raccogliere senza di esso, ma non può sommare nel tempo questa luce come può fare, invece, un rivelatore. Per questa ragione Lord Rosse scorse, coi suoi telescopi, la forma di un granchio in M1, mentre, se avesse avuto il modo di registrare le sue osservazioni sulle lastre fotografiche, avrebbe potuto vedere una struttura filamentosa del tutto diversa. Sempre per quanto riguarda M1, si è soliti affermare che la Supernova esplose nel 1054 a.C.,

ma, in realtà, questa è la data in cui i cinesi registrarono il fenomeno, in quanto l'esplosione avvenne 6.500 anni prima, essendo la distanza di M1 dal Sole pari all'incirca a 6.500 *al*.

A questo punto, sorge spontaneo domandarsi come gli astronomi possano misurare distanze così enormi. Fino a tempi molto recenti, la misura della parallasse era ottenibile soltanto da Terra, ma la presenza dell'atmosfera, che produce un ingrandimento delle immagini stellari (a un valore che tipicamente si attesta attorno a 1") unita all'impossibilità di aumentare la distanza "di base" Terra-Sole (che viene riflessa nel moto annuale delle stelle) rendeva determinabile, con sufficiente accuratezza, solamente la distanza delle stelle localizzate entro 50 *pc* dal Sole. Nel 1989, la missione spaziale *Hipparcos* (*High Precision Parallax Collecting Satellite*), promossa dall'*ESA* (*European Space Agency*), ha permesso un primo grande passo in avanti: il satellite, rimasto in orbita attorno alla Terra per quattro anni, ha fornito le parallassi di circa 120.000 stelle situate entro 150 *pc* dal Sole (con una precisione, 0,001", superiore di un ordine di grandezza a quella ottenibile da Terra). Successivamente a *Hipparcos*, l'*ESA* ha lanciato nel 2013 un nuovo satellite, *Gaia* (*Global Astrometric Interferometer for Astrophysics*), che, tuttora in orbita intorno a L2 (a una distanza dalla Terra circa uguale a quella tra la Terra e il Sole), ha permesso di ottenere (con una precisione 200 volte superiore a quella di *Hipparcos*) le parallassi di 1,3 miliardi di stelle poste entro una distanza massima di 30.000 *al* (circa 9,2 *kiloparsec, kpc*) dal Sole. Un risultato straordinario che ha consentito di realizzare una mappa estremamente precisa e dettagliata della distribuzione tridimensionale di una porzione rilevante delle stelle che fanno parte della nostra galassia. Tuttavia, nonostante la "rivoluzione" attuata da *Gaia*, per distanze superiori a quelle che sono attualmente ottenibili dalla misura della parallasse, bisogna ricorrere a quelli che gli astronomi chiamano "metodi indiretti". Questi si fondano sulla possibilità di identificare degli oggetti celesti, le cosiddette "candele standard", dotati di una luminosità intrinseca che sia uguale per tutti, oltre che nota. Poiché la luminosità intrinseca e la luminosità osservata sono legate tra loro da una relazione⁸ abbastanza semplice, che dipende dalla distanza, è possibile utilizzare le "candele standard" per determinare, attraverso la misura della loro luminosità osservata, proprio la loro distanza. La relazione (cfr. nota 8) vale soltanto in assenza di assorbimento della luce, ma dal momento che quest'ultimo è, in realtà,

sempre presente (in quanto provocato dalla polvere che si trova, seppure in piccole quantità, negli spazi siderali) può essere applicata dopo che la luminosità osservata è stata corretta per l'assorbimento. Una mancata correzione, o una correzione insufficiente (ovvero l'utilizzo nella relazione di una luminosità osservata inferiore a quella che la "candela standard" mostrerebbe in assenza di assorbimento), si traduce in una sovrastima della sua distanza. La correzione per l'assorbimento interstellare non è, evidentemente, un compito facile. La distribuzione della polvere, ingrediente fondamentale, assieme al gas, per la formazione di nuove stelle, non è uniforme, ma si addensa in alcune regioni e più un corpo celeste è lontano, più è probabile che attraversi un certo numero di queste regioni e che la sua luce venga parzialmente assorbita, risultando in una luminosità che è minore di quella che si osserverebbe in assenza di assorbimento.

A Joseph Fraunhofer fu negata la soddisfazione di vedere quali importanti frutti avrebbero dato i suoi due "gioielli": il rifrattore con cui von Struve avrebbe misurato la parallasse di Vega e l'eliometro con cui Bessel avrebbe misurato quella della "stella fuggitiva". Morì, infatti, 11 anni prima che tutto questo accadesse, nel 1826, a soli 39 anni, molto probabilmente a causa dell'avvelenamento provocatogli per aver lavorato a lungo (nella realizzazione dei suoi strumenti) coi vapori dei metalli pesanti. Non fu dimenticato, tuttavia, dalla storia, anche se il suo nome non è legato alla misura della parallasse, ma a una scoperta che egli fece quando aveva solamente 27 anni e che aprì la strada a quella che sarebbe stata chiamata in seguito "l'astrofisica", ovvero la scienza incentrata sullo studio della natura e della struttura dei corpi celesti.

Nel 1814, Fraunhofer costruì uno spettroscopio, uno strumento che, sfruttando il fenomeno di rifrazione della luce, riusciva a separare finemente le sue diverse componenti. Qualcosa di simile aveva già fatto Newton quando, dopo aver notato la presenza dell'aberrazione cromatica provocata dalle lenti, era riuscito, a seguito di una serie di esperimenti, basati sull'utilizzo del prisma, a dimostrare che la luce bianca risultava dall'insieme di tutti i diversi colori. Il grande scienziato inglese non ottenne, tuttavia, il consenso in cui aveva sperato, poiché il suo lavoro, intitolato *A new Theory about Light and Colours* e pubblicato nel 1672 dalla *Royal Society*, fu aspramente criticato, oltre che da Huygens, anche da Robert Hooke, fisico, biologo e geologo inglese, il cui nome è rimasto legato alla legge che descrive

il comportamento della forza elastica. Hooke fu, scientificamente, un acerrimo nemico di Newton e cercò di ostacolarlo in tutti i modi, approfittando anche del ruolo di segretario della *Royal Society*, che rivestì dal 1677. Tanto aspra fu la guerra che Hooke combatté contro Newton che, quando quest'ultimo divenne, nel 1703, presidente della *Royal Society*, ordinò la rimozione del ritratto di Hooke, morto nel corso dello stesso anno.

L'elemento disperdente dello spettroscopio di Fraunhofer era proprio il prisma, anzi, per la verità, i prismi erano due, intercambiabili e di diverse dimensioni. Col prisma più grande Fraunhofer poteva ottenere una maggiore separazione dei colori, ovvero quello che in termini tecnici è detto uno "spettro" della luce maggiormente disperso, o di maggiore risoluzione.

Osservando col suo spettroscopio la luce emessa da una fiamma, Fraunhofer si accorse che, se lasciava cadere su di essa un pizzico di sale, sulla parte gialla dello spettro si produceva una linea molto intensa che, osservata attraverso il prisma più grande, risultava composta da due righe distinte. Analogamente a quanto aveva fatto Galileo, puntando il suo cannocchiale verso il cielo, Fraunhofer decise di puntare lo spettroscopio verso il Sole, o meglio, per evitare di accecarsi, verso la luce del Sole, che aveva fatto passare attraverso una sottile fessura, realizzata ponendo gli scuri della sua finestra quasi a contatto tra loro. Così facendo, si accorse, con grande sorpresa, che la riga, o le due righe, che gli erano apparse luminose sullo spettro della fiamma, si trovavano esattamente nella stessa posizione anche nello spettro del Sole, ma invece di essere luminose, erano scure e che, oltre a esse, nello spettro erano presenti altre nove righe scure.

Fraunhofer decise, quindi, di classificare le righe sulla base della loro posizione e della loro intensità, scegliendo di ordinarle alfabeticamente, partendo dalla parte rossa dello spettro e utilizzando il carattere maiuscolo per le più intense e il minuscolo per quelle meno intense. Le dieci righe di Fraunhofer partivano quindi dalla *A*, la più rossa, e finivano con la *H*, la più blu, e comprendevano anche due righe, la *a* e la *b*, caratterizzate da un'intensità più bassa delle altre. La riga, che aveva visto nel sale e che si trovava nella regione del giallo, era la *D*, nella sua classificazione, che aveva suddiviso nelle due righe *D*₁ e *D*₂ distinguibili soltanto utilizzando lo spettroscopio ad alta risoluzione.

Il doppietto di righe era provocato dal sodio, presente, oltre che nel sale, che è

cloruro di sodio, anche nel Sole e il motivo per cui le righe apparivano scure in quest'ultimo e luminose sulla fiamma sarebbe stato compreso solamente molti anni dopo. Fraunhofer non poteva sapere che la presenza delle righe scure nel Sole era legata sia alla composizione chimica superficiale della nostra stella sia, e soprattutto, alla sua temperatura superficiale, né poteva sapere che le prime due righe della sua classificazione, le più rosse, la *A* e la *B*, non si generavano sulla superficie del Sole, ma nella nostra atmosfera terrestre, a opera di molecole presenti in essa.

Fraunhofer non si fermò, naturalmente, al suo primo spettroscopio, perché nel giro di pochi anni ideò un nuovo strumento ottico, il reticolo di diffrazione. Questo gli avrebbe permesso di ottenere una dispersione molto più grande della luce e, come conseguenza, egli riuscì, nel 1821, a identificare e a misurare la posizione di 570 righe scure nello spettro del Sole. Poi, puntato il suo spettroscopio verso Venere, Capella (la stella più luminosa della costellazione dell'Auriga) e Betelgeuse, si accorse che i loro spettri erano molto simili a quello del Sole, mentre lo spettro di Sirio era sostanzialmente diverso.

Diversi anni dopo, due scienziati tedeschi, Gustav Robert Kirchhoff (noto ai più per le sue leggi sui circuiti elettrici che aveva sviluppato nel 1845, quando era ancora uno studente di matematica e fisica all'Università Albertina) e Robert Wilhelm Eberhard Bunsen (un chimico che viene invece generalmente ricordato per lo strumento che porta il suo nome, "il becco di Bunsen") avrebbero deciso di proseguire il lavoro iniziato da Fraunhofer.

In particolare, utilizzando proprio il becco di Bunsen, che altro non è che un fornello, capace di ottenere fiamme di gas, aventi temperature molto diverse tra loro, e uno spettroscopio costruito da Kirchhoff, i due scienziati, che dal 1854 lavoravano insieme all'Università di Heidelberg, cominciarono a gettare sulla fiamma gli elementi chimici più disparati, analogamente a quanto aveva fatto Fraunhofer con il sale. Dopo una serie interminabile di quelle che lo stesso Kirchhoff avrebbe definito (in una lettera all'amico Henry Roscoe, chimico inglese) delle «lunghe notti insonni», furono in grado di stabilire che esisteva una relazione univoca tra gli elementi chimici e il sistema di righe che caratterizzava lo spettro di ciascuno di essi.

Compresero, inoltre, la relazione che intercorreva tra le righe luminose e quelle scure: le prime si potevano ottenere scaldando un gas a una temperatura, il cui valore dipendeva dal tipo di gas; le seconde, invece, comparivano nello spettro

quando il gas in questione non era riscaldato, ma era posto fra l'osservatore, che guardava attraverso lo spettroscopio, e una sorgente di calore.

Nel celebre articolo intitolato *Über die Fraunhoferschen Linien* e pubblicato sugli *Annalen der Physik* nel 1860, Kirchhoff e Bunsen chiarirono quindi definitivamente la natura delle righe che Fraunhofer aveva identificato nel Sole, associando a ciascuna di esse l'elemento chimico che, attraverso la riga (o le righe), manifestava la sua presenza. Mostrarono, inoltre, che il motivo per cui le righe apparivano sempre scure era dovuto al fatto che la regione da cui provenivano, la fotosfera, era più fredda degli strati a essa sottostanti.

Kirchhoff e Bunsen non conoscevano la ragione per cui i gas scaldati presentavano sempre e solo determinate righe, né il motivo che legava la presenza delle righe alla temperatura di riscaldamento del gas. Alla loro epoca, la struttura dell'atomo non era stata ancora delineata, nemmeno nella sua forma più schematica, come avrebbe fatto, quasi 50 anni dopo, il chimico e fisico neozelandese Ernest Rutherford che, nel 1909, con un celebre esperimento, avrebbe mostrato che il modello "a panettone" (proposto dal fisico inglese John Thomson nel 1904), che vedeva la carica positiva distribuita in modo diffuso su tutto l'atomo e le cariche negative inserite, come se fossero state le uvette del panettone, all'interno di essa, non poteva essere ritenuto valido.

L'atomo di Rutherford era composto da un nucleo piccolissimo, contenente quasi tutta la massa che si trovava localizzata nelle particelle di carica positiva, quelle che oggi chiamiamo protoni, e da corpuscoli molto più piccoli, quelli che oggi chiamiamo elettroni, aventi cariche di segno negativo e orbitanti attorno al nucleo. Il neutrone, particella priva di carica, ma con massa quasi uguale a quella del protone, sarebbe stato scoperto diversi anni dopo, nel 1932, dal fisico inglese James Chadwick.

L'atomo di Rutherford, che mostrava una curiosa analogia col modello che Copernico aveva proposto per il Sistema Solare quasi 400 anni prima, non era, però, in grado di spiegare la ragione degli spettri a righe e, inoltre, aveva un problema ancora più grande, ovvero quello di non essere stabile. Non era, infatti, conciliabile con le leggi della elettrodinamica classica, secondo le quali una carica, qual è l'elettrone, in moto non rettilineo uniforme, quale era, secondo il modello, il suo movimento attorno al nucleo, avrebbe dovuto emettere radiazione elettromagnetica, perdendo progressivamente, però, in questo modo, la

propria energia e finendo quindi col crollare sopra il nucleo entro un tempo brevissimo, dell'ordine di alcuni secondi.

Appena quattro anni dopo l'esperimento di Rutherford, il fisico danese Niels Bohr avrebbe trovato il modo di rendere stabile l'atomo di idrogeno che, essendo dotato di un solo protone e di un solo elettrone, è il più semplice in assoluto. Bohr sarebbe riuscito, inoltre, a proporre il meccanismo che avrebbe giustificato lo spettro a righe dell'atomo di idrogeno. L'assunzione di Bohr, che sarebbe stata opportunamente modificata e inglobata nell'ambito della teoria della meccanica quantistica, prevedeva che l'elettrone potesse risiedere soltanto in determinate orbite e il passaggio dalle une alle altre potesse avvenire solamente per effetto dell'assorbimento o dell'emissione di un "quanto di luce", la particella a cui sarebbe stato dato, in seguito, il nome di fotone, dotato della giusta energia, quella corrispondente alla differenza di energia tra le diverse orbite. Per spostarsi in un'orbita più lontana dal nucleo, l'elettrone avrebbe assorbito un fotone, generando nello spettro una riga scura di assorbimento, mentre per spostarsi in un'orbita più vicina al nucleo avrebbe emesso un fotone, generando nello spettro una riga luminosa di emissione.

Il modello di Bohr costituisce una semplificazione del meccanismo molto più complesso, che regola l'emissione delle righe negli atomi e che vede gli elettroni non più collocati su delle orbite, ma all'interno di "orbitali", ossia regioni che hanno una elevata probabilità di essere occupate dai diversi elettroni. Non è possibile, infatti, stabilire, in alcun modo, la posizione esatta degli elettroni all'interno degli atomi e, pertanto, il concetto di orbita, che risulta tanto familiare nell'ambito della fisica classica, nella meccanica quantistica diviene totalmente privo di senso.

Tuttavia, in virtù della sua semplicità, il modello di Bohr consente di rendere comprensibile anche ai non addetti ai lavori la ragione per cui gli atomi dei gas emettono uno spettro a righe e, per quanto attiene all'atomo di idrogeno, permette di calcolare le differenze di energia delle diverse orbite e di determinare con esattezza la posizione delle righe nello spettro.

Nonostante l'idrogeno sia l'elemento più abbondante nell'Universo, le sue righe non risultano ugualmente forti in tutte le stelle, poiché il fattore, che risulta determinante per la presenza e per l'intensità delle righe, è la temperatura degli strati sottostanti la fotosfera della stella. Esiste, infatti, una relazione tra la temperatura di un corpo emittente e il colore della radiazione emessa, che vede, contrariamente

a quanto si potrebbe pensare, i corpi blu più caldi di quelli rossi. Tale relazione era già stata notata da Kirchhoff nel 1862, ma sarebbe stata giustificata, nell'ambito di una nuova teoria, nel 1900, dal fisico tedesco Max Planck, che per questo risultato avrebbe ottenuto, 18 anni dopo, il premio Nobel per la Fisica.

Una stella azzurra, quale ci appare Sirio, è quindi superficialmente più calda di una stella gialla, come il nostro Sole, o rossa, come Betelgeuse. Sirio emette, pertanto, una maggiore quantità di fotoni blu di quanto possa fare Betelgeuse e, dal momento che i fotoni blu sono caratterizzati da un'energia maggiore di quella dei fotoni rossi, sulla superficie di Sirio possono verificarsi transizioni tra le orbite degli elettroni, che necessitano di una maggiore differenza di energia rispetto a quelle che più frequentemente possono essere effettuate sulla superficie di Betelgeuse. A parità di composizione chimica delle stelle, le righe mostrate dalle stelle calde corrisponderanno a transizioni elettroniche di maggiore energia rispetto a quelle mostrate dalle stelle fredde. Righe che saranno, di conseguenza, diverse tra loro. Nello spettro delle stelle risulterà quindi "leggibile" la loro temperatura superficiale.

La spettroscopia delle stelle e, in particolare, del Sole avrebbe offerto un risultato inatteso appena otto anni dopo la pubblicazione del lavoro di Kirchhoff e Bunsen, che spiegava la natura delle righe che Fraunhofer aveva visto nello spettro del Sole. Il 18 agosto del 1868, infatti, l'astronomo francese Pierre Jules César Janssen, che sette anni dopo sarebbe divenuto il primo direttore del prestigioso Osservatorio Astronomico di Meudon, nei pressi di Parigi, avrebbe deciso di recarsi a Guntur, in India, per osservare l'eclissi totale di Sole. Janssen voleva approfittare del fenomeno (che tanto terrore aveva provocato agli antichi) per ottenere lo spettro della cromosfera solare, uno strato di gas sottilissimo, spesso appena 2.000 km, collocato sopra la fotosfera e visibile soltanto quando quest'ultima rimane oscurata per effetto della sovrapposizione della Luna.

Col suo spettroscopio, Janssen notò una riga gialla intensissima (che si trovava di poco spostata in direzione del blu rispetto alle due righe di assorbimento del sodio, identificate da Fraunhofer come D_1 e D_2 nello spettro del Sole) la cui origine era del tutto sconosciuta e, comprese, in quel preciso momento, che non avrebbe dovuto attendere il verificarsi del raro fenomeno dell'eclissi totale di Sole per osservare di nuovo quella riga misteriosa, ma che sarebbe stato sufficiente trovare il modo di oscurare artificialmente il Sole.

Rientrato in Francia, si mise d'impegno e, nel giro di qualche settimana, costruì uno spettroelioscopio, ovvero un telescopio, dotato di uno spettroscopio e di un disco scuro, avente un diametro angolare esattamente uguale a quello del Sole. Con questo strumento continuò a osservare per diversi giorni la riga gialla, di cui non conosceva l'origine.

Janssen non immaginava nemmeno lontanamente che, al di là della Manica, il direttore dell'Osservatorio Solare di Kensington, a Londra, Joseph Norman Lockyer, con uno strumento analogo al suo, stava compiendo le medesime osservazioni e, non essendo riuscito a identificare la riga gialla con nessuno degli elementi noti, aveva addirittura azzardato per questo nuovo elemento il nome di *helium*, in omaggio al Sole, che in greco è detto *Hélios*. Janssen non avrebbe nemmeno immaginato che l'articolo, in cui Lockyer annunciava il suo risultato e descriveva anche il metodo con cui l'aveva ottenuto, sarebbe giunto all'Accademia Francese delle Scienze pochi minuti prima che egli consegnasse (a mano, in segreteria) il suo articolo avente un contenuto molto simile.

Non si trattò, tuttavia, di un annuncio fortunato. Al contrario, la scoperta di Lockyer e Janssen, oltre a non ricevere la considerazione che avrebbe meritato, fu presa male dalla grandissima maggioranza degli scienziati, che non vollero dare alcun credito alla possibilità che due astronomi avessero scoperto un nuovo elemento. Sarebbe stata, infatti, la prima volta in cui un elemento chimico veniva identificato al di fuori dell'ambito terrestre e ciò pareva del tutto inaccettabile.

Sarebbero dovuti trascorrere all'incirca 30 anni prima che il chimico scozzese William Ramsay, che nel 1904 avrebbe ricevuto il premio Nobel per la scoperta dei gas nobili, tra cui è incluso anche l'elio, riuscisse a rivelare la presenza di quest'ultimo all'interno di una roccia costituita prevalentemente di uranio e la scoperta di Lockyer e Janssen potesse ricevere la giusta considerazione. La maggior parte dell'elio presente sulla Terra si origina, infatti, per effetto del decadimento radioattivo dell'uranio e Ramsay, esaminando lo spettro del gas che avrebbe fatto sprigionare dalla roccia, dopo averla riscaldata, avrebbe notato la presenza di una riga nella stessa posizione che era stata individuata da Lockyer e Janssen nello spettro della cromosfera del Sole.

L'ipotesi dei due astronomi sarebbe stata così, finalmente, rivalutata e al nuovo gas sarebbe stato assegnato proprio il nome scelto da Lockyer.

CAPITOLO VI

HENRIETTA SWAN LEAVITT

Honoured Miss Leavitt, What my friend and colleague Professor von Zeipel of Uppsala has told me about your admirable discovery of the empirical law touching the connection between magnitude and period-length for the Cepheid-variables of the Little Magellan's cloud, has impressed me so deeply that I feel seriously inclined to nominate you to the Nobel prize in physics for 1926.

Spettabile signorina Leavitt, ciò che il mio amico e collega professor von Zeipel di Uppsala mi ha riferito riguardo la sua straordinaria scoperta di una relazione empirica tra la luminosità e il periodo di variazione della stessa per le variabili Cefeidi nella Piccola Nube di Magellano, mi ha talmente impressionato che sarei intenzionato a nominarla per il premio Nobel della Fisica del 1926.

(Gösta Mittag-Leffler, *Letter to Leavitt*, 1925)

Henrietta Swan Leavitt nacque a Lancaster, cittadina dello stato del Massachusetts, il 4 luglio del 1868, in una famiglia molto religiosa. Il padre, George Roswell Leavitt, era un pastore della chiesa congregazionista e discendeva dal più noto John Leavitt, puritano e fondatore, nel 1681, della *Old Ship Church* a Hingham,



PAROLE CHIAVE

Donne "computer" / Spettroscopia stellare / Stelle variabili

in quella che fra il 1628 e il 1691 era stata la colonia inglese della Baia del Massachusetts. Dopo aver avuto una formazione di tipo classico, che comprendeva lo studio del greco e della filosofia, Henrietta si appassionò di astronomia, al punto tale che decise di offrire, nel 1895, il proprio contributo come assistente di ricerca volontaria a Edward Charles Pickering. Questi era, dal 1876, il direttore dell'Harvard College Observatory, un istituto che era stato fondato nel 1839 per gestire gli strumenti utilizzati dagli studiosi del Dipartimento di Astronomia di Harvard, l'università più antica degli Stati Uniti d'America.

La giovane era divenuta così una delle 80 "donne computer", di cui Pickering aveva iniziato a circondarsi a partire dal 1881, anche se, contrariamente alle altre, avrebbe dovuto svolgere il lavoro gratuitamente, come volontaria, per sette anni, fino al 1902, anno in cui, dopo essere stata assunta, avrebbe cominciato a essere anche retribuita.

Pickering sarebbe stato ricordato, in futuro, esclusivamente per quella sua decisione, del tutto inusuale per l'epoca, di circondarsi di decine di signore che, dedicandosi con impegno e abnegazione all'astronomia, avrebbero raggiunto risultati che, come nel caso della Leavitt, si sarebbero rivelati fondamentali per l'avanzamento della ricerca astronomica.

Probabilmente, Pickering non pensava che dal suo gruppo di "donne computer" sarebbe uscita la scoperta del secolo. Le donne, secondo lui, erano semplicemente molto più accurate, ordinate, meticolose e pazienti degli uomini e quindi molto più adatte a svolgere la parte più tediosa del lavoro astronomico, ossia quella inerente la raccolta dei dati, la loro catalogazione e il loro confronto.

Il termine "donne computer" deve, infatti, essere inteso nell'accezione che poteva avere a fine Ottocento, ovvero quella di esecutrici, quasi fossero delle macchine, di un lavoro che non richiedeva necessariamente una formazione di tipo astronomico, ma dedizione assoluta, senso del dovere e del sacrificio, qualità che, del resto, venivano insegnate fin dall'infanzia a chi apparteneva al genere femminile. Nel caso in cui si fosse verificata l'eventualità di dover svolgere alcuni calcoli, le "donne computer", degne di tale nome, lo avrebbero fatto manualmente con l'unico ausilio di carta e penna.

La prima "donna computer" che Pickering aveva assunto, nel 1881, non aveva alcun tipo di formazione, non solo per quanto atteneva alla matematica o all'a-

stronomia, ma nemmeno a dei più semplici studi di base. Si trattava, infatti, della sua cameriera, Williamina Paton Stevens Fleming, una giovane di origini scozzesi che, compiuti i 21 anni, aveva sposato James Orr Fleming e si era quindi trasferita con lui a Boston, la grande città, di cui Cambridge (sede dell'Harvard College Observatory) può essere considerata una sorta di piccolo "satellite".

James aveva abbandonato la moglie, in attesa del loro primo e unico figlio, quasi subito dopo il loro arrivo negli Stati Uniti e così Williamina si era vista costretta a cercare rapidamente un lavoro, che potesse garantire la sussistenza a lei e al bambino che stava per venire alla luce. Per sua grande fortuna, era stata assunta da Pickering e, appena un paio di anni dopo, questi, entrato in contrasto con alcuni collaboratori, dopo aver affermato che la sua cameriera sarebbe stata molto più affidabile di tutti loro, avrebbe ritenuto opportuno mutare le mansioni della giovane donna, facendola assumere nell'istituto che dirigeva.

La decisione di Pickering si sarebbe rivelata fondamentale, perché senza il lavoro costante, paziente e accurato di Williamina non avrebbe mai potuto portare a termine il progetto di spettroscopia stellare, che la vedova di Henry Draper, Mary Anna Palmer, aveva voluto finanziare per onorare la memoria del marito. Quest'ultimo era un medico che aveva coltivato per lungo tempo la sua grande passione, l'astronomia, raggiungendo risultati di notevole rilievo. Compiuti i 45 anni, aveva deciso di abbandonare definitivamente la cattedra di medicina all'Università di New York, per dedicarsi integralmente all'astronomia, ma per una terribile ironia della sorte era stato strappato alla vita, pochi mesi dopo, da una pleurite fulminante.

Fortunatamente, per Pickering e per Williamina, Henry Draper era riuscito a incontrare il direttore dell'Harvard College Observatory nel novembre del 1882, appena qualche giorno prima di ammalarsi mortalmente, e in quella occasione gli aveva mostrato gli spettri di decine di stelle che aveva ottenuto su lastra col telescopio, avente uno specchio primario di 28 pollici e una lunghezza focale di 12 piedi, che aveva costruito proprio assieme alla moglie, Mary Anna.

Pickering era rimasto molto colpito da quell'ennesimo straordinario risultato di Henry Draper, che non giungeva, del resto, inaspettato. L'astronomo amatore era già noto ai professionisti di Harvard, sia per le sue doti di abilissimo costruttore di telescopi e di strumenti, sia per la sua fama di pioniere nell'introduzione delle tecniche fotografiche in astronomia. Nel corso del 1863, aveva ottenuto ben 1.500

lastre fotografiche della Luna e appena nove anni dopo, nel 1872, era stato il primo al mondo a registrare su lastra lo spettro di una stella, Vega. A seguito di quel suo grande successo, aveva deciso di collocare l'elemento disperdente, il prisma, non più all'interno dello spettroscopio, come aveva fatto per ottenere lo spettro di Vega, ma direttamente davanti allo specchio del suo telescopio e in questo modo era riuscito a ottenere, sulla medesima lastra, gli spettri di tutte le stelle che si trovavano nel campo visivo, con un evidente vantaggio in termini di tempo, in quanto con una singola esposizione si ottenevano simultaneamente più spettri. Queste lastre multi-spettro erano proprio quelle che Henry Draper era riuscito a mostrare a Pickering pochi giorni prima di morire.

Lo sfortunato medico statunitense, tuttavia, non era stato il primo a utilizzare quella tecnica, ingegnosa e di grande efficienza, che prende il nome di "prisma obiettivo" e viene tuttora utilizzata per classificare in modo rapido oggetti celesti, aventi delle caratteristiche spettrali diverse. Un gesuita italiano, padre Angelo Secchi, dopo aver posizionato un prisma davanti all'obiettivo di un telescopio rifrattore, collocato sul tetto della chiesa di Sant'Ignazio a Roma, aveva infatti osservato, tra il 1863 e il 1867, gli spettri di più di 400 stelle.

Gli spettri di padre Secchi, che dal 1849 rivestiva il ruolo di direttore dell'Osservatorio Astronomico del Collegio Romano, però, non erano su lastra, in quanto egli aveva operato prima del 1872, l'anno in cui Henry Draper avrebbe dimostrato al mondo che era possibile ottenere su quel nuovo rivelatore, oltre alle immagini degli oggetti astronomici, anche lo spettro di una stella. Pertanto, la classificazione accurata delle stelle, che padre Secchi aveva deciso di attuare per primo, si basava esclusivamente su quanto egli era riuscito a vedere, in tempo reale, nel corso di quei quattro lunghi anni, trascorsi notte dopo notte a identificare le righe scure negli spettri di tutte le stelle, che si trovavano nel campo visivo del suo telescopio.

Analogamente a quanto aveva già notato Fraunhofer, confrontando lo spettro di Sirio con quelli di Betelgeuse e Capella, anche padre Secchi si era accorto che gli spettri delle stelle mostravano delle differenze e, inoltre, aveva notato la presenza di una relazione tra il colore con cui le stelle apparivano nel cielo e i loro spettri. Tale relazione sarebbe stata compresa diversi anni dopo, per effetto degli studi compiuti da Kirchhoff e Bunsen, della teoria dell'emissione ideata da Max Planck e del modello atomico proposto da Bohr.

In assenza di un quadro interpretativo che gli permettesse di ordinare gli spettri, seguendo un parametro fisico, quale, ad esempio, la temperatura delle stelle, padre Secchi aveva deciso di dividere le stelle in quattro classi, ciascuna identificata da un numero romano. Nella classe I, aveva incluso le stelle biancastre o azzurrognole (come Sirio) i cui spettri erano dominati dalla presenza di poche righe di assorbimento; nella classe II, aveva posto, invece, le stelle gialle, simili al Sole (come Capella e Arturo) con lo spettro solcato da molte righe di assorbimento; nella classe III aveva inserito le stelle arancioni, che spesso mostravano anche una certa variabilità di luce, su periodi di tempo lunghi e irregolari (come Betelgeuse e Mira Ceti) e caratterizzate dalla presenza di bande larghe nello spettro e, infine, aveva attribuito all'ultima classe, le stelle simili a quelle della terza, ma più rosse e con le bande localizzate in posizioni diverse.

La proposta, che la vedova di Henry Draper fece a Pickering, prevedeva, oltre al finanziamento del progetto di spettroscopia stellare, anche la realizzazione di un telescopio, equipaggiato di prisma obiettivo, con cui sarebbe stato possibile ottenere ben 200 spettri alla volta e il direttore dell'Harvard College aderì a essa con enorme entusiasmo, decidendo di assegnare il compito di mettere ordine nella classificazione spettrale delle stelle (ideata da padre Secchi, diversi anni prima) proprio a Williamina, la sua ex-cameriera.

La possibilità di avere tutti gli spettri registrati su lastra avrebbe reso la classificazione molto meno faticosa e più precisa, in quanto essi avrebbero potuto essere esaminati più volte e tutto questo sarebbe potuto avvenire con calma durante il giorno e non al freddo, nel corso di una stessa notte, come aveva dovuto fare padre Secchi. L'utilizzo delle lastre come rivelatori avrebbe, inoltre, consentito di conservare tutto il materiale relativo alle osservazioni, che sarebbe rimasto, per così dire, a disposizione per eventuali revisioni future, a opera di altre "donne computer" o di altri astronomi. Infine, particolare affatto trascurabile, il segnale registrato sulla lastra sarebbe stato molto più forte, per effetto del tempo di esposizione, all'epoca dell'ordine di alcune ore, che avrebbe permesso di raccogliere molta più luce di quanto poteva fare l'occhio dell'astronomo attraverso l'oculare.

Williamina non avrebbe tradito le aspettative del suo direttore, classificando pazientemente ben 10.000 spettri di stelle che, nel 1890, avrebbero costituito la prima versione dell'*Henry Draper Catalogue of Stellar Spectra*.

Nel classificare quell'ingente quantità di stelle, la Fleming non aveva seguito pedissequamente la strada aperta da padre Secchi, ma aveva avuto un'idea diversa e originale, ovvero quella di ordinarle in funzione della decrescente dominanza delle righe di assorbimento dell'idrogeno nei loro spettri e aveva pertanto raggruppato nella classe A le stelle per cui tali righe erano molto più intense e via via, nelle classi successive, seguendo l'ordine alfabetico, le stelle in cui le righe dell'idrogeno si facevano sempre più flebili, fino a scomparire del tutto.

Alcuni anni dopo la pubblicazione del catalogo degli spettri stellari, intitolato a Henry Draper, e più precisamente nel 1896, Pickering avrebbe assunto come propria assistente Annie Jump Cannon che, a differenza delle altre "donne computer", aveva una formazione specifica in matematica, fisica e astronomia. La Cannon, che, come la Leavitt, era divenuta sorda a causa di una malattia contratta in giovane età, avrebbe deciso non solo di proseguire il lavoro iniziato da Williamina, ma anche di rivedere la classificazione, eliminando tutte le classi che le sarebbero parse ridondanti. La Cannon avrebbe, inoltre, cambiato l'ordine delle classi, mettendo al primo posto quella in cui la distribuzione della luce delle stelle mostrava il massimo della propria intensità nella regione più blu dello spettro e all'ultimo posto la classe in cui il massimo dell'intensità luminosa cadeva, invece, in corrispondenza della regione più rossa. Fra queste due classi, la O e la M, si sarebbero trovate le stelle che mostravano il massimo della loro distribuzione di luce nelle regioni dello spettro, che si spostavano progressivamente dalla parte blu verso la parte rossa, producendo la ben nota sequenza O, B, A, F, G, K e M che viene utilizzata ancora oggi e di cui si può afferrare il senso solamente conoscendone l'origine.

Annie Cannon non sapeva che aveva riordinato le stelle, appartenenti a quelle che aveva ritenuto essere le classi non ridondanti di Williamina Fleming, in funzione decrescente della loro temperatura superficiale, ma nel giro di poco tempo, grazie alla teoria sull'emissione di radiazione sviluppata da Max Planck, sarebbe risultato chiaro che le stelle blu, come sono le O, sono più calde delle stelle gialle, come è il Sole, che appartiene alla classe G, e delle stelle M, che sono le più rosse, oltre che le più fredde. Le temperature superficiali tipiche delle stelle O superano, infatti, facilmente i 30.000 K, mentre quelle delle stelle G si aggirano attorno ai 5.000 K e quelle delle stelle M sono invece dell'ordine di 2.000 K.

Negli anni successivi, la Cannon avrebbe continuato a esaminare gli spettri delle stelle e a classificarle e nel 1924 il catalogo *Henry Draper* (noto come *HD*) avrebbe raggiunto il ragguardevole primato di 225.300 stelle, distribuite su tutto il cielo. Al telescopio, che la vedova di Henry Draper aveva voluto finanziare, intestandolo alla memoria del marito, sarebbe stato affiancato infatti, a partire dal 1890, un altro telescopio, che l'Harvard College avrebbe fatto edificare ad Arequipa, una cittadina situata a 2.400 metri di altezza sulle Ande, in Perù, per poter estendere la classificazione spettrale delle stelle anche alle regioni visibili solo dall'emisfero australe. Proprio da questo rifrattore, che con la sua lente di 61 cm di diametro poteva essere considerato "un gigante", proveniva anche il materiale fotografico, che Pickering aveva dato a Henrietta Leavitt nel 1895, quando le aveva affidato il noioso compito di identificare le stelle variabili nelle due Nubi di Magellano.

Queste ultime sono due galassie di forma irregolare molto vicine alla nostra, che appaiono a occhio nudo come due piccole nubi (Fig. 12). In realtà, la più vicina a noi (160.000 *al* circa) è un po' più grande dell'altra (distante dal Sole all'incirca 200.000 *al*) e per questa ragione viene chiamata "Grande Nube di Magellano", mentre l'altra, di conseguenza, è detta "Piccola Nube di Magellano". A intitolarle al grande navigatore portoghese (il cui "vero" nome era Fernão de Magalhães e che non riuscì a portare a termine la prima circumnavigazione del globo, perché fu ucciso, nel 1521, in seguito a una sommossa scoppiata in un'isola dell'arcipelago delle Filippine) fu Antonio Pigafetta che faceva parte della spedizione e, nel 1524, nel libro intitolato *Relazione del primo viaggio intorno al mondo* avrebbe attribuito a Magellano l'avvistamento delle due "nubi" nel cielo meridionale.

Per la verità, le due "nubi" erano già state notate da Amerigo Vespucci, durante il suo quarto viaggio, avvenuto tra il 1503 e il 1504, ma il primo in assoluto che aveva menzionato la Grande Nube era stato l'astronomo persiano Abd al-Rahmān al-Sūfi, vissuto diversi secoli addietro. Nel suo manoscritto del 964, intitolato *Le stelle fisse*, egli aveva dato alla Grande Nube il nome di *Al Bakr*, ovvero il "Bue Bianco" e affermato che non era visibile da Baghdad, la città in cui egli viveva, ma soltanto da coloro che abitavano nelle zone più meridionali della penisola arabica. Le Nubi di Magellano sono, infatti, molto prossime al polo sud celeste e quindi la loro osservabilità, che dipende dalla loro altezza nel cielo, è ottima nelle regioni dell'emisfero australe, in cui entrambe risultano circumpolari per le zone che han-



Fig. 12. Una suggestiva immagine delle due nubi di Magellano ottenuta il 28 gennaio 2007 dal Professor Miloslav Druckmüller (dell'Università di Brno, Repubblica Ceca) nel cielo della Patagonia in Argentina. Sotto le Nubi è ben visibile la Grande Cometa del 2007 (C/2007 P1), scoperta dall'astronomo Robert H. McNaught, in Australia, il 7 agosto 2006. Sulla sinistra, infine, si può vedere una porzione della Via Lattea entro cui risaltano alcune zone scure dovute alla presenza di polvere.

no latitudine inferiore a -20° . Le Nubi si riescono a vedere, seppure basse sull'orizzonte, anche dalle regioni dell'emisfero boreale prossime all'equatore.

Quando Pickering chiese alla Leavitt di identificare le stelle variabili nelle due Nubi di Magellano, non se ne conosceva ancora la reale natura e tutti erano convinti che si trattasse di nebulose, composte da stelle, appartenenti alla nostra galassia. Del

resto, anche la natura delle stelle variabili (che, come dice il termine stesso, sono stelle la cui luminosità cambia nel tempo) era del tutto sconosciuta. Si distinguevano genericamente le stelle che mostravano una variazione improvvisa, le *Novae*, da quelle la cui variazione era ciclica, regolare e meno ampia in luminosità. Nessuno era a conoscenza dell'esistenza delle *Supernovae* che, quando comparivano, erano ritenute essere delle *Novae*, ossia stelle che si rendevano visibili dal nulla, o meglio, da stelle talmente deboli da risultare invisibili non soltanto a occhio nudo, ma molto spesso anche attraverso un telescopio. Nessuno conosceva il meccanismo che era alla base della variazione di luminosità delle Cefeidi, stelle così chiamate per la loro somiglianza nella variabilità (una salita molto rapida dal minimo verso il massimo di luce seguita da una discesa molto più lenta) alla prima stella di questo tipo, *Delta Cephei*, che era stata identificata più di 100 anni prima. A scoprire la variabilità della quarta stella in ordine di luminosità della costellazione del Cefeo, era stato John Goodricke, un giovane inglese di nobili origini, anch'egli divenuto sordo, in seguito a una serie di malattie, tra cui anche la temibile scarlattina, che aveva contratto nella primissima infanzia.

Il giovane, nato nel 1764, era un appassionato scrutatore del cielo e aveva notato una variazione apprezzabile della luminosità di *Delta Cephei*, nel corso di diverse notti. Per questa ragione, aveva deciso di osservarla regolarmente, tra il 19 ottobre e il 28 dicembre del 1784 e anche durante i primi mesi dell'anno successivo. A seguito di quella lunga serie di osservazioni, era riuscito a stabilire l'entità della variazione in luminosità e l'esatto periodo, che aveva trovato essere pari a 5 giorni e 20 ore e, qualche mese dopo, nel giugno del 1785, aveva annunciato con una lettera il suo risultato alla *Royal Society*.

Per effetto di questo lavoro e anche di un'ipotesi che Goodricke aveva sviluppato, nel 1783 (a soli 19 anni), per interpretare la variabilità della stella Algol (nota anche come *Beta Persei*) e che gli era valsa, nello stesso anno, l'assegnazione della medaglia *Copley* dalla *Royal Society*, il 16 aprile del 1786 i membri della prestigiosa istituzione scientifica inglese si espressero a favore della sua ammissione. Sfortunatamente, Goodricke non venne mai a conoscenza di questo importante riconoscimento, perché morì quattro giorni dopo, il 20 aprile del 1786, a causa di una polmonite, che aveva contratto a seguito delle lunghe esposizioni al freddo delle notti inglesi.

L'interpretazione che Goodricke aveva dato alla variabilità di Algol, ben visibile anche a occhio nudo e di cui anche il nome, di origine araba (*al-ghul* che si può tradurre come “lo spirito” oppure “il demone”), porta una chiara traccia, prevedeva la presenza di un corpo che, passando davanti alla stella, la oscurava periodicamente. Curiosamente, sarebbe stato proprio Pickering a confermare, all'incirca 100 anni dopo, l'intuizione di Goodricke. Nel 1881, il direttore dell'Harvard College Observatory avrebbe, infatti, dimostrato che Algol era una “binaria fotometrica”, ovvero un sistema di stelle così vicine tra loro da non essere distinguibili nemmeno al telescopio, in cui però la linea di vista dell'osservatore è allineata col piano orbitale delle stelle e quindi, periodicamente, si può osservare una variazione di luminosità, dovuta al fatto che le stelle vengono a trovarsi l'una davanti all'altra e si “oscurano” a vicenda. Non a caso, le binarie fotometriche sono dette anche “binarie a eclissi” e la forma della variazione periodica della loro luminosità, che in termini tecnici è chiamata “curva di luce”, dipende da quanto le due stelle sono simili o dissimili, per quel che riguarda la loro luminosità e il loro raggio.

Pochi anni dopo, nel 1889, Hermann Carl Vogel, direttore dell'Osservatorio Astronomico di Postdam (cittadina situata circa 30 km a sud-ovest di Berlino), avrebbe fatto della stella Algol la prima “binaria spettroscopica” a essere identificata, riuscendo a individuare, nel suo spettro, la traccia del movimento relativo delle due stelle che compongono il sistema.

Il risultato di Vogel sarebbe stato possibile grazie a quanto aveva scoperto quasi 50 anni prima il matematico e fisico austriaco Christian Andreas Doppler, dopo essersi accorto, casualmente, che il suono di una sorgente in movimento si faceva più acuto, se la sorgente si dirigeva verso di lui, e più greve, se si allontanava. L'effetto, che Doppler descrisse in un lavoro pubblicato nel 1842, dipende dal fatto che la propagazione del suono avviene per mezzo di onde e queste ultime “si schiacciano” o “si allungano” se la loro sorgente si avvicina o si allontana. Ne risulta che la frequenza delle onde, ossia il numero di “picchi” contenuti in un secondo di tempo, aumenta se la sorgente si avvicina e diminuisce se la sorgente si allontana, generando un suono che si fa, di conseguenza, più acuto o più greve.

L'effetto scoperto da Doppler sarebbe stato esteso nel 1848, dal fisico francese Armand Hippolyte Louis Fizeau, anche alla “luce” che, in analogia col suono, mostra una natura ondulatoria e questo risultato avrebbe dato modo di poter deri-

vare, dallo spostamento delle righe negli spettri, le velocità di avvicinamento o di allontanamento nella direzione radiale, ossia lungo la linea di vista, della sorgente dall'osservatore. In particolare, le righe di assorbimento nello spettro di una stella che si stesse allontanando dalla Terra sarebbero state spostate verso le frequenze più basse, ovvero verso il rosso, mentre quelle di una stella che si stesse muovendo in direzione del nostro pianeta sarebbero risultate spostate verso le frequenze più alte, ossia verso il blu.

Grazie a Doppler e a Fizeau, lo spostamento delle righe nello spettro di una stella (che al telescopio appariva come un oggetto singolo) ne avrebbe potuto rivelare la natura duplice, poiché due stelle gravitazionalmente legate fra loro, orbitando attorno al loro comune centro di massa, si sarebbero spostate alternativamente verso il blu o verso il rosso, per effetto del loro moto. Lo spostamento osservato avrebbe fornito la velocità reale delle stelle, soltanto se la linea di vista fosse stata esattamente allineata al piano dell'orbita, e un valore per la velocità, che sarebbe risultato tanto più una sottostima del valore reale, quanto maggiore fosse stato l'angolo tra il piano orbitale e la linea di vista. Tale valore sarebbe, infatti, risultato nullo per un angolo di 90° (corrispondente a un piano dell'orbita perpendicolare alla linea di vista), perché in tale caso l'effetto Doppler-Fizeau sarebbe risultato pari a zero. Non sarebbe sempre stato possibile, tuttavia, osservare le righe di assorbimento di entrambe le stelle componenti il sistema, anzi, in generale, sarebbero risultate visibili solamente quelle della stella più luminosa, il cui spettro avrebbe dominato su quello della stella più debole. A ogni modo, sarebbe stato sufficiente misurare lo spostamento periodico delle righe di una delle due stelle per poter derivare i parametri orbitali del sistema.

All'epoca in cui Pickering affidò alla Leavitt il compito di identificare le variabili nelle Nubi di Magellano, si riteneva che la variabilità fosse dovuta a fenomeni improvvisi e inspiegabili, come quello delle *Novae*, oppure ciclici e regolari, come quello che caratterizzava le binarie fotometriche, in quanto le binarie spettroscopiche non mostravano necessariamente delle variazioni di luce. Si pensava, quindi, che la variabilità delle stelle fosse dovuta a un fenomeno di natura esplosivo, del tutto ignoto, oppure al fatto che le stelle potessero essere parte di un sistema doppio. In questa categoria, si riteneva dovessero essere incluse anche le Cefeidi, che mostravano variazioni di luminosità regolari su periodi che an-

davano tipicamente da pochi giorni fino a un mese. L'ipotesi trovava sostegno in quella che sembrava essere la localizzazione più frequente per questo tipo di variabili, gli ammassi globulari, in cui l'elevata densità stellare rendeva plausibile la loro appartenenza a un sistema doppio, ma non trovava adeguato riscontro negli spettri, che pian piano si stavano accumulando per le Cefeidi.

Pickering, tuttavia, non aveva chiesto alla Leavitt di capire le ragioni della variabilità delle stelle, ma molto più semplicemente di identificare tutte le variabili, cercando eventualmente una relazione che legasse il loro numero alla luminosità, oppure l'entità della variazione di luminosità a quest'ultima o al colore. La scelta di cercare tutte le variabili nelle due Nubi rispondeva anche al desiderio di comprendere se in regioni speciali della nostra galassia (come, in virtù della loro dimensione cospicua, apparivano le Nubi) il numero delle stelle variabili e le loro caratteristiche si rivelassero significativamente diverse che in altre zone.

Armata di un piccolo oculare, Henrietta trascorreva ore e ore, confrontando le immagini di una stessa stella su lastre fotografiche, prese in giorni diversi. La dimensione di una stella sulla lastra dipende dalla quantità di luce inviata e pertanto le stelle più luminose appaiono più grandi. Le stelle variabili, quindi, avrebbero dovuto mostrare, su lastre prese in giorni diversi, dimensioni diverse, ma poiché la variazione della dimensione dipende dalla variazione di luminosità e quest'ultima non era troppo grande, il mutamento della dimensione era abbastanza piccolo e poteva essere notato soltanto con un oculare che consentisse di ingrandire significativamente l'immagine. Il problema era naturalmente complicato dal fatto che, essendo state acquisite in giorni e ore diverse, le lastre fotografiche, su cui Henrietta andava cercando le stelle variabili, avevano subito un assorbimento da parte della nostra atmosfera che non era lo stesso, per cui una piccola variazione osservata non era necessariamente indice di variabilità. Per essere certi che si trattasse di un fenomeno di variabilità, occorreva confrontare meticolosamente tutte le lastre per verificare che il cambiamento nella dimensione delle stelle fosse effettivamente a carattere progressivo, ossia che le dimensioni aumentassero o diminuissero con continuità al trascorrere del tempo, e non fluttuassero, invece, in modo casuale. Infine, una volta identificate con certezza le stelle variabili, era necessario misurarne le luminosità nel modo più accurato possibile. Per fare questo, la Leavitt (che aveva maturato una buona

esperienza, lavorando durante i sette anni di volontariato assieme alla Fleming e alla Cannon) confrontava la dimensione delle sue variabili con quella di alcune stelle presenti in ciascuna lastra, il cui valore della luminosità era già stato misurato con un'ottima precisione. Si trattava di un lavoro tedioso, che doveva essere svolto con la massima attenzione e accuratezza per contenere gli errori sulle misure entro il minimo valore possibile, ma che a Henrietta sembrava non pesare affatto, forse anche perché, essendo stata cresciuta in una famiglia estremamente religiosa, era abituata a uno stile di vita improntato al rigore e all'austerità.

Sarebbe errato, tuttavia, pensare che Henrietta fosse una persona grigia e poco socievole. Nonostante la sordità rendesse le sue interazioni con gli altri non proprio facili, la sua bontà e gentilezza d'animo riuscivano comunque a emergere e a farsi spazio. A questo proposito, molto significative e toccanti sono le parole con cui Solon Irvin Bailey, astronomo di Harvard e direttore della Stazione Osservativa di Arequipa fra il 1892 e il 1919, l'avrebbe ricordata, in occasione della sua prematura scomparsa: «She had the happy faculty of appreciating all that was worthy and lovable in others, and was possessed of a nature so full of sunshine that, to her, all of life became beautiful and full of meaning» (Bailey 1922, p. 197).

Lavorando intensamente, giorno dopo giorno, ma sempre col sorriso sulle labbra, l'instancabile Henrietta giunse a identificare quasi 1.800 stelle variabili nelle due Nubi di Magellano e nell'organizzare quell'enorme mole di dati, che avrebbe dovuto inserire in un articolo, fece una scoperta inaspettata, che riguardava 16 stelle variabili, appartenenti alla Piccola Nube. Per esse, infatti, trovò una relazione, che le parve molto curiosa, tra la luminosità massima raggiunta, per effetto della variazione, e il periodo con cui avveniva quest'ultima. Le due quantità erano correlate: al crescere dell'una corrispondeva anche la crescita dell'altra, mentre al diminuire dell'una anche l'altra diminuiva.

Sedici stelle costituivano indubbiamente una minima parte dell'intero campione, ma la Leavitt pensò che valesse la pena di evidenziare la relazione, che legava le loro luminosità ai periodi, e decise, pertanto, di tenerle separate da tutte le altre dedicando loro la sesta tabella dell'articolo, intitolato *1777 Variables in the Magellanic Clouds* (che nel 1908 fu pubblicato nel sessantesimo volume degli *Annali dell'Osservatorio Astronomico dell'Harvard College*), commentando la sua scelta in

questo modo «It is worthy of notice that in Table VI the brighter variables have the longer periods» (Leavitt 1908, p. 107).

Quattro anni dopo, nel 1912, Pickering avrebbe pubblicato, nella Circolare n. 173 dell'Harvard College, un articolo dal titolo *Periods of 25 Variable stars in the small Magellanic cloud*, che si sarebbe aperto con una frase, con cui riconosceva, seppure in modo non del tutto esplicito, il merito della scoperta a Henrietta Leavitt: «The following statement regarding the periods of 25 variable stars in the Small Magellanic Cloud has been prepared by Miss Leavitt» (Pickering 1912, p. 1).

L'articolo, che contiene una dettagliata descrizione del lavoro monumentale alla base della pubblicazione della Leavitt del 1908, intendeva sottolineare come l'identificazione di altre nove variabili, che seguivano la relazione tra il periodo e la luminosità, confermasse quanto era stato trovato quattro anni prima, ovvero che la variazione della luminosità di questo particolare tipo di variabili avvenisse su periodi più lunghi per le variabili più luminose.

Nessuno conosceva, all'epoca, la ragione che provocava quella variazione di luminosità e sarebbero trascorsi all'incirca 50 anni, prima che il fisico russo Zhevakin ne dimostrasse l'origine nella pulsazione degli strati più superficiali di alcune stelle, caratterizzate da determinati valori della massa e in particolari periodi della loro vita. La mancanza di conoscenza del fenomeno fisico che era alla base della variabilità delle Cefidi impedì, pertanto, a Pickering di comprendere il motivo per cui il periodo della loro variazione fosse legato alla luminosità e, inoltre, al direttore dell'Harvard College Observatory sfuggì la straordinaria importanza, di carattere pratico, legata alla scoperta della Leavitt, ovvero la possibilità di utilizzare quel tipo di variabili come “candele standard”, in quanto la luminosità intrinseca delle Cefidi sarebbe stata facilmente determinabile proprio attraverso la relazione tra essa e il periodo (misurabile senza difficoltà), evidenziata dalla Leavitt.

Nell'articolo del 1912, Pickering si limitò a sottolineare che la variazione di luminosità osservata dovesse riflettere una variazione di luminosità intrinseca, perché tutte le stelle appartenevano alla stessa nebulosa e pertanto dovevano avere più o meno la stessa distanza da noi.

L'anno successivo, un astronomo e chimico danese, Ejnar Hertzsprung (il cui nome sarebbe rimasto indissolubilmente legato a quello del collega statunitense, Henry Norris Russell, poiché i due avrebbero trovato nel 1910, indipendentemente

l'uno dall'altro, la relazione fra il tipo spettrale – O, B, A, F, G, K e M – e la luminosità intrinseca delle stelle in un grafico che sarebbe successivamente divenuto noto con il nome di “diagramma di Hertzsprung-Russell”) riuscì a determinare la distanza di 13 variabili dello stesso tipo di quelle che erano state identificate da Henrietta Leavitt.

Le 13 Cefeidi appartenenti alla nostra galassia erano troppo lontane, affinché Hertzsprung potesse misurarne la parallasse, così utilizzò un metodo diverso, tuttora usato, ovvero quello della parallasse statistica, che si fonda sull'assunzione che un gruppo di stelle gravitazionalmente legato, quale, ad esempio, un ammasso aperto, mostri una velocità d'insieme che riflette quella del Sole. In questo modo, misurando l'entità di tale spostamento angolare, che avviene lungo il piano del cielo, è possibile trovare la distanza del gruppo, in quanto il riflesso del moto solare è tanto più piccolo quanto più il gruppo di stelle è lontano. È un metodo statistico, come indicato dal suo stesso nome, che presuppone che i moti propri reali delle stelle del gruppo si distribuiscano in modo casuale sul piano del cielo, cancellandosi a vicenda, ed è tanto più preciso quanto più tale assunzione si avvicina al vero.

Quando ebbe stimato la distanza delle 13 Cefeidi, appartenenti alla nostra galassia, Hertzsprung poté assegnare loro una luminosità intrinseca (utilizzando la relazione mostrata nella nota 8) e calibrare la relazione trovata dalla Leavitt, associando a ognuna delle 25 Cefeidi della Piccola Nube la propria luminosità intrinseca, sulla base del periodo di variazione osservato. Dal confronto tra la luminosità osservata, misurata dalla Leavitt, e quella intrinseca, determinata da lui, poté stimare la distanza della Piccola Nube che, per effetto di una sottostima delle distanze ottenute col metodo della parallasse statistica, risultò pari a 10 *kpc*, un valore circa sei volte inferiore a quello reale.

Hertzsprung, tuttavia, aveva aperto la strada che Edwin Hubble avrebbe percorso pochi anni dopo, nel 1923, per stabilire definitivamente la natura extragalattica della Nebulosa di Andromeda.

Nel frattempo, Pickering aveva affidato a Henrietta il compito di estendere in numero e in luminosità il campione di “stelle standard”, ovvero le stelle con misure molto accurate della luminosità (osservata), che potevano essere usate, così come aveva fatto anche lei, per stimare, attraverso il confronto dell'annerimento delle immagini, la luminosità (osservata) di altre stelle.

Le sequenze di stelle standard, realizzate da Henrietta Leavitt, che lavorò incessantemente fino alla morte, avvenuta nel 1921 a soli 53 anni, sarebbero state utilizzate a lungo da diversi osservatori astronomici.

Henrietta non ebbe modo di saperlo mai, né le fu dato di sapere quali straordinari frutti avrebbe portato la relazione tra il periodo e la luminosità, che aveva scoperto, e l'unico riconoscimento che ebbe in una vita integralmente dedicata all'astronomia fu la nomina a capo della sezione di fotometria dell'Harvard College Observatory che Harlow Shapley, subentrato a Pickering nella direzione, le assegnò proprio nell'anno in cui sarebbe scomparsa.

Edwin Hubble avrebbe esternato in diverse occasioni la propria gratitudine nei confronti della Leavitt, sostenendo più volte che Henrietta avrebbe meritato il premio Nobel e, in effetti, il matematico svedese Gösta Mittag-Leffler (che dal 1903 faceva parte della commissione per l'assegnazione dei premi Nobel) inconsapevole che la Leavitt fosse scomparsa da alcuni anni, pensò che avrebbe potuto nominarla per il Nobel della Fisica del 1926 e il 23 febbraio del 1925 le inviò una lettera che si apriva con la frase riportata all'inizio del presente capitolo.

La sfortunata "donna computer", però, non era più di questo mondo e, dal momento che il premio Nobel non può essere assegnato postumo, non ebbe nemmeno la possibilità di essere nominata.

CAPITOLO VII

LA VERA NATURA DELLE NEBULAE

The question whether nebulae are external galaxies hardly any longer needs discussion. It has been answered by the progress of discovery. No competent thinker, with the whole of the evidence before him, can now, it is safe to say, maintain any single nebula to be a star system of coordinate rank with the Milky Way. A practical certainty has been attained that the entire contents, stellar and nebular, of the sphere belong to one mighty aggregation.

Il problema se le nebulose siano o no galassie esterne non richiede più alcuna discussione. Esso ha trovato risposta nel progresso del sapere. Nessun pensatore competente, che avesse tenuto adeguatamente in conto l'intera evidenza accumulatasi nel tempo, potrebbe, ora, affermare che le nebulose possano essere sistemi stellari di rango paragonabile a quello della Via Lattea. È stata raggiunta una concreta certezza del fatto che tutti i contenuti, stellari e nebulari, appartengono a un'unica possente aggregazione.

(Agnes Mary Clerke, *The System of the Stars*, 1890)



PAROLE CHIAVE

Candele standard / Galassie / Universo

La mattina del 26 aprile del 1920, nel Museo di Storia Nazionale di Washington, Harlow Shapley e Heber Curtis sostennero pubblicamente i propri diversi punti di vista, in relazione alla natura di un tipo particolare di *nebulae*, ossia quelle che mostravano il disegno a spirale. Quest'ultimo argomento era la chiave di volta su cui Curtis, fresco di nomina a direttore dell'Osservatorio Astronomico di Allegheny (localizzato a Pittsburgh, in Pennsylvania), fondava la sua ipotesi, per la verità condivisa da pochi, che le vedeva essere oggetti esterni alla nostra galassia, quegli "universi isola", la cui esistenza era stata postulata, solo su basi speculative, più di 150 anni prima, dal filosofo tedesco Immanuel Kant, nella *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels*. Per la verità, Kant non aveva propriamente espresso un'idea originale, ma aveva tratto ispirazione da un lavoro che Thomas Wright, astronomo e architetto inglese, aveva pubblicato, senza riscuotere una grande attenzione, cinque anni prima, nel 1750, in cui, oltre a ipotizzare una forma sferica per la nostra galassia, aveva sostenuto che le *nebulae* fossero galassie esterne, simili alla nostra. Anche la locuzione "universi isola", la cui paternità viene generalmente attribuita a Kant, sarebbe stata, in realtà, coniata molti anni dopo, nel 1845, dallo scienziato tedesco Alexander von Humboldt, nella sua celebre opera *Il Cosmo*. Nonostante ci fosse stato chi, anche nel passato, aveva sostenuto la probabile esistenza di sistemi stellari esterni al nostro, la maggioranza degli astronomi continuava a opporsi a tale ipotesi, forse spinta inconsciamente dal desiderio di contenere le dimensioni dell'Universo, che per lungo tempo si era limitato a un piccolo sistema, centrato dapprima sulla Terra e poi sul Sole, nel tentativo di confinarlo entro i limiti della nostra galassia, di cui pertanto era necessario salvare ostinatamente l'unicità.

L'introduzione dei rivelatori fotografici in astronomia, avvenuta verso la fine dell'Ottocento, aveva permesso di stabilire che una buona parte delle *nebulae* mostrava uno strano disegno a spirale. Per la verità, Lord Rosse era già riuscito a individuarlo in alcune nebulose del catalogo di Messier, per mezzo del suo "Leviatano" e senza l'ausilio delle lastre fotografiche, ma l'esposizione prolungata nel tempo, resa possibile grazie a queste ultime, aveva consentito di stabilire che il disegno a spirale era molto più frequente nelle *nebulae* di quanto si fosse ritenuto in precedenza.

La particolarità di forma delle spirali aveva convinto fin da subito Heber Curtis che dovessero essere oggetti simili alla nostra galassia ed esterni a essa e, per

provare questa sua ipotesi, aveva registrato sulle lastre le immagini di più di un migliaio di nebulose, utilizzando quello che, con la sua lente di 91 cm di diametro, era stato per quasi dieci anni, dal 1888 al 1897, il telescopio rifrattore più grande del mondo.

Prima di essere nominato direttore dell'Osservatorio di Allegheny, Curtis aveva, infatti, lavorato per una ventina d'anni all'Osservatorio del Lick e da quel luogo, localizzato un centinaio di chilometri a sud-est dalla città di San Francisco, in California, aveva acquisito il materiale fotografico, che gli aveva consentito di stabilire le caratteristiche distintive delle nebulose a spirale. Dallo studio accurato della loro forma, quale si mostrava attraverso le diverse inclinazioni, che permettevano di identificare al meglio il disegno a spirale quando la *nebula* appariva “di faccia” (ovvero col disegno esattamente perpendicolare alla linea di vista), oppure il profilo di luminosità della *nebula* quando questa appariva “di taglio” (ossia col piano equatoriale perpendicolare alla linea di vista), Curtis era riuscito a distinguere la presenza di una banda scura nel piano equatoriale di queste *nebulae* e aveva ipotizzato che anche la nostra galassia dovesse avere la forma di una spirale. Tale corretta intuizione gli aveva consentito di interpretare un'evidenza osservativa, che era risultata dalla sua grande mole di dati, ossia il fatto che le *nebulae* a spirale evitassero accuratamente la regione della Via Lattea, che rappresenta la proiezione in cielo del disco della nostra galassia, così come si può vedere da una posizione interna, quale è la nostra. Se anche la galassia in cui ci troviamo aveva la forma e la struttura di spirale, allora l'assorbimento, operato dalla polvere localizzata nel suo piano equatoriale, avrebbe impedito naturalmente la visione di oggetti lontani e deboli, quali sono le galassie esterne.

L'idea che la nostra galassia potesse avere la forma di una spirale non era, del resto, nuova: nel 1852, Stephen Alexander, professore di matematica e astronomia all'Università di Princeton, aveva pubblicato una dissertazione intitolata *The Milky Way - a Spiral*. La sua era stata soltanto un'ipotesi, che aveva fondato basandosi sul disegno che Lord Rosse aveva effettuato per M99, una galassia che oggi sappiamo essere a 60 milioni di *anni luce* di distanza dal Sole. Alexander aveva mostrato come, scegliendo opportunamente la forma delle braccia a spirale e ipotizzando che il Sole si trovasse al centro, fosse possibile riprodurre con buona precisione la visione che della nostra galassia abbiamo dalla Terra.

Una cinquantina di anni dopo, nel 1900, il giornalista olandese Cornelis Easton, appassionato di astronomia e di meteorologia, aveva ripreso l'intuizione di Alexander e l'aveva tradotta in un disegno, riuscendo a riprodurre incredibilmente bene quella che in seguito, grazie alle osservazioni in banda radio di una riga, dovuta all'idrogeno allo stato neutro, si sarebbe rivelata essere la forma delle braccia della nostra galassia, regioni in cui l'idrogeno, fondamentale per la formazione di nuove stelle, è particolarmente abbondante.

I tempi, tuttavia, non erano assolutamente maturi e così l'intuizione di Alexander e la rappresentazione grafica di Easton, oltre a non aver avuto, all'epoca, quasi nessun seguito, vengono generalmente ignorate nelle ricostruzioni dell'evoluzione del pensiero astronomico, relativo al XIX secolo.

Shapley, che all'epoca lavorava all'Osservatorio di Mount Wilson, ma sarebbe stato chiamato l'anno successivo a dirigere l'Harvard College di Cambridge, prendendo il posto di Pickering, deceduto nel 1919, era convinto che le nebulose col disegno a spirale appartenessero, al pari delle altre, alla nostra galassia, e il suo argomento era si era incentrato prevalentemente sulle dimensioni di quest'ultima.

Shapley era particolarmente orgoglioso del sistema che aveva escogitato per misurare l'estensione della nostra galassia, che si basava sulle distanze stimate degli ammassi globulari. Col telescopio riflettore di Mount Wilson (avente uno specchio di 1,5 m di diametro) era riuscito a identificare alcune Cefeidi negli ammassi globulari più vicini e, assumendo che per esse valesse la relazione tra il periodo e la luminosità, che Henrietta Leavitt aveva trovato per le Cefeidi della Piccola Nube, ne aveva stimato la luminosità intrinseca. Dal confronto tra quest'ultima e la luminosità che aveva misurato aveva dedotto (utilizzando la relazione di cui alla nota 8) le distanze degli ammassi. Queste gli erano servite per determinare la luminosità intrinseca della stella più brillante di ogni ammasso, che avrebbe usato come "candela standard" negli ammassi più lontani, in cui le Cefeidi non sarebbero state identificabili. Per gli ammassi ancora più lontani, invece, nell'impossibilità di identificare anche la stella più brillante, Shapley avrebbe utilizzato i diametri, assumendo che gli ammassi avessero tutti lo stesso diametro e derivando la loro distanza dal rapporto⁹ tra il diametro intrinseco e quello apparente.

Il processo di Shapley era stato, oltre che lungo e laborioso, anche soggetto a una grande incertezza, legata alle assunzioni che aveva dovuto fare. Era poco probabile

che la stella più brillante degli ammassi globulari avesse sempre la stessa luminosità, così come era ugualmente poco probabile che i diametri degli ammassi fossero tutti uguali. La sovrastima delle dimensioni della nostra galassia operata da Shapley, che col suo metodo era giunto ad attribuirle un'estensione di 80 *kpc*, pari a quasi tre volte il valore reale (circa 30 *kpc*), non derivava, però, dal fatto che le sue assunzioni sulla luminosità e sul diametro fossero discutibili, perché, se la stella fosse stata più luminosa di quanto egli aveva assunto, la distanza dall'ammasso globulare sarebbe stata sottostimata, mentre, se fosse stata meno luminosa, sarebbe stata sovrastimata. Qualcosa di analogo sarebbe accaduto con i diametri: se fossero stati più grandi del valore che egli aveva loro assegnato, le distanze sarebbero state sottostimate; se fossero stati più piccoli, sarebbero state sovrastimate. Pertanto, alla fine, gli errori sarebbero stati commessi in un verso e nell'altro e avrebbero prodotto una misura delle dimensioni della galassia non troppo diversa da quella reale, anche se affetta da una grandissima incertezza.

La sovrastima delle dimensioni della galassia risultava, invece, dal fatto che Shapley aveva sistematicamente sovrastimato tutte le distanze degli ammassi globulari, perché aveva commesso due errori: il primo era legato al fatto che non aveva tenuto in alcun conto l'assorbimento della luce, derivante dalla presenza della polvere negli spazi interstellari, che fa apparire progressivamente le stelle meno luminose e i diametri più piccoli (in quanto ne vengono sfumati i bordi) all'aumentare della distanza (producendo di conseguenza una sovrastima di quest'ultima); il secondo errore, che aveva avuto un effetto ancora più importante, dipendeva dall'assunzione che le variabili presenti negli ammassi globulari fossero dello stesso tipo di quelle che la Leavitt aveva identificato nella Piccola Nube, mentre invece così non era. Diversi anni dopo, nel 1944, l'astronomo di origini tedesche Walter Baade (che dal 1931 avrebbe lavorato proprio all'Osservatorio di Mount Wilson) approfittando dell'oscuramento di tutte le luci della vicina città di Los Angeles, effettuato per il timore di attacchi aerei a opera dei giapponesi, sarebbe riuscito a identificare nella Galassia di Andromeda e nelle sue due galassie "satelliti", M32 e NGC205 (corrispondente a M110, l'oggetto del catalogo di Messier, che catturò l'attenzione di Caroline Herschel), delle stelle caratterizzate da un colore molto diverso. A differenza di Andromeda, che era una galassia a spirale, le altre due erano prive di braccia e avevano una forma ellittica e le lastre "profonde" che Baade avrebbe otte-

nuto (con lo stesso riflettore utilizzato da Shapley e tempi di posa di quattro ore), avrebbero rivelato che, mentre in Andromeda le stelle che apparivano dominare, in numero, su tutte le altre, appartenevano ai tipi spettrali K e B, nelle galassie satelliti le stelle più numerose erano esclusivamente quelle di tipo K. I due tipi stellari dominanti in Andromeda mostravano, inoltre, una distribuzione spaziale diversa: le stelle B si trovavano nelle braccia a spirale, mentre le K nella regione a esse circostante.

L'analogia tra quanto avrebbe visto in Andromeda e quanto era già noto nella nostra galassia avrebbe indotto Baade a ipotizzare l'esistenza di due diverse popolazioni stellari nelle spirali: le stelle blu distribuite nel disco (la regione sottile in cui si trovano le braccia) e le stelle rosse invece nel *bulge* (il rigonfiamento centrale delle spirali) e nell'alone (la regione di forma sferica che circonda *bulge* e disco). Non conoscendo il motivo fisico di quanto aveva evidenziato, Baade avrebbe deciso di chiamare "popolazione I" quella del disco e "popolazione II" quella del *bulge* e dell'alone. Nel giro di una decina di anni si sarebbe compreso che la differenza tra le due popolazioni stellari rifletteva semplicemente una diversa età delle stelle che ne facevano parte in quanto le stelle della popolazione II si sarebbero rivelate essere più vecchie delle stelle della popolazione I e così la nomenclatura scelta da Baade, e tuttora utilizzata, sarebbe risultata, negli anni a venire, del tutto anti-intuitiva.

All'epoca in cui Baade avrebbe effettuato le sue osservazioni, sarebbe stato chiarito da pochi anni il meccanismo che rendeva luminose le stelle. Nel 1939, il fisico tedesco Hans Albrecht Bethe, riprendendo un'intuizione dell'astrofisico inglese Arthur Eddington (noto ai più per aver mostrato, in occasione dell'eclissi totale di Sole del 29 maggio del 1919 la validità della teoria della relatività generale di Einstein), avrebbe individuato, nella reazione di fusione nucleare dell'idrogeno, la fonte di energia delle stelle, guadagnandosi in questo modo il premio Nobel per la Fisica nel 1967. Bethe avrebbe ipotizzato che, nelle regioni centrali delle stelle, i nuclei dell'idrogeno (costituiti da un unico protone) venissero trasformati in nuclei di elio (costituiti da due protoni e due neutroni) e che la differenza tra le masse (dei quattro protoni iniziali e del nucleo di elio) fosse liberata sotto forma di energia secondo la ben nota relazione $E = mc^2$, che era stata formulata da Einstein nel 1905 nell'ambito della teoria della relatività ristretta. La fusione nucleare dell'idrogeno sarebbe stata possibile soltanto negli interni stellari, in cui le temperature

dell'ordine di milioni di gradi consentono alle cariche dello stesso segno, quali sono i protoni, di superare la forza, che tende naturalmente ad allontanarle, e a farli collidere gli uni con gli altri, per poter formare, attraverso una serie di reazioni, il nucleo atomico dell'elio.

Sarebbero occorsi ancora diversi anni prima che, nel 1957, tre fisici inglesi, Margaret e Geoffrey Burbidge e Fred Hoyle, e un fisico statunitense, William Fowler, con un articolo lungo più di 100 pagine, mostrassero che al processo di fusione dell'idrogeno in elio sarebbero potuti seguire processi di fusione, molto più rapidi del precedente, che avrebbero portato alla produzione di tutti gli elementi della tavola periodica, compresi tra l'elio e il ferro.

Non tutte le stelle avrebbero potuto produrre il ferro, ma per quelle, le più massicce, che fossero riuscite a farlo, la morte sarebbe stata a dir poco spettacolare. La fusione nucleare del ferro è un processo che, invece di liberare energia, la assorbe e pertanto se nel nucleo di una stella, costituito da ferro, iniziano i processi di fusione per formare l'elemento successivo, la temperatura, invece di aumentare, cala e il nucleo, non più sostenuto da alcuna forma di energia che possa bilanciare l'effetto della gravità, inizia a contrarsi fino a raggiungere una densità talmente grande da non essere più sostenibile, che lo porta a esplodere, producendo il fenomeno di Supernova. In questo modo, vengono rilasciati nello spazio, oltre agli elementi prodotti dalla stella attraverso la fusione nucleare, anche quelli che si generano in questa ultima fase esplosiva attraverso la cattura di neutroni, che sfuggono dalla stessa stella, con una serie complicata di processi che riesce a dar ragione della produzione di tutti gli elementi della tavola periodica.

Gli autori dello storico lavoro del 1957 avrebbero mostrato, inoltre, che il tempo di vita di ogni stella sarebbe stato speso per il 90% nel fenomeno di fusione da idrogeno a elio e che, terminato tale combustibile nucleare, la stella avrebbe avuto un destino che sarebbe dipeso dalla sua massa iniziale. Quest'ultima avrebbe giocato un ruolo determinante anche nella fusione dell'idrogeno, che sarebbe stata tanto più efficiente – e quindi più rapida – quanto più la stella fosse stata massiccia. Per questo motivo, le stelle blu, che sono più massicce delle rosse, avrebbero abbandonato più rapidamente di queste ultime la regione del diagramma di Hertzsprung-Russell, occupata dalle stelle, durante questa prima lunga fase della loro vita (che, in termini tecnici, è detta la “sequenza principale”) e, a differenza delle

stelle rosse, non sarebbero state più visibili. Soltanto eventi di formazione stellare, accaduti successivamente al primo, avrebbero potuto ripopolare l'intera regione, riempiendo quindi anche il vuoto lasciato dalle stelle blu.

La mancanza di stelle blu nei satelliti di Andromeda, rivelata da Baade, stava pertanto a indicare che in quelle due galassie la formazione stellare non era più in atto. La loro presenza nelle braccia di Andromeda e della nostra galassia mostrava, invece, che in tali regioni continuavano a formarsi nuove stelle e che quelle di massa maggiore andavano a riempire la lacuna, lasciata dalle stelle della generazione precedente. Le stelle rosse, della popolazione II, erano quindi più vecchie delle stelle blu, della popolazione I.

Le Cefeidi, identificate da Henrietta Leavitt nella Piccola Nube, che è una galassia in cui la formazione stellare è ancora attiva, erano stelle giovani, appartenenti alla popolazione I, mentre, al contrario, le Cefeidi, identificate da Shapley negli ammassi globulari della nostra galassia, erano stelle vecchie appartenenti alla popolazione II. Sia le une che le altre mostravano una relazione tra il periodo e la luminosità, prodotta dalla pulsazione dei loro strati più superficiali, dovuta a un meccanismo abbastanza complesso (che sarebbe stato illustrato nel 1953 da Zhevakin), ma le relazioni erano diverse. In particolare, a un medesimo periodo della variazione sarebbe corrisposto un valore della luminosità massima delle Cefeidi della popolazione II, inferiore a quello mostrato dalle Cefeidi della popolazione I. Adottando per le Cefeidi degli ammassi globulari la relazione che la Leavitt aveva derivato per le Cefeidi della Piccola Nube, Shapley ne aveva quindi sovrastimato la luminosità intrinseca e, di conseguenza, anche le distanze di tutti gli ammassi. Il risultato di cui Shapley era stato così orgoglioso, e su cui aveva ottenuto un quasi unanime consenso dei colleghi, si sarebbe rivelato, pertanto, errato nel corso degli anni successivi. Quello studio, tuttavia, gli aveva permesso di cogliere un'evidenza molto importante, ovvero quella relativa alla distribuzione nel cielo degli ammassi globulari, che lo aveva indotto a postulare che il Sole non fosse al centro della nostra galassia.

La distribuzione degli ammassi globulari era parsa a Shapley, fin da subito, non simmetrica attorno al Sole e, per trovare ulteriore sostegno alla sua ipotesi, aveva deciso di acquisire i loro spettri. Da essi, misurando lo spostamento delle righe di assorbimento (dovuto all'effetto Doppler-Fizeau), aveva derivato le velocità, riu-

scendo a stabilire, con un buon margine di sicurezza, che gli ammassi erano in orbita attorno a un punto, il centro della galassia, che non coincideva col Sole. Il privilegio del centro, che era stato della Terra fino a Copernico, con Shapley veniva tolto anche al Sole.

La maggioranza degli astronomi però si era mostrata molto scettica, in relazione a questo risultato, e tra loro era naturalmente anche lo stesso Curtis, che era a favore di una galassia molto più piccola di quella di Shapley: 10 *kpc* di diametro del disco, con il Sole che ne manteneva saldamente la posizione centrale.

L'argomentare di Curtis, tuttavia, non si era focalizzato sull'estensione della nostra galassia, che, del resto, egli non aveva determinato personalmente, ma aveva desunto dalle stime operate da altri astronomi (che, a differenza di quanto aveva fatto Shapley, avevano sovrastimato l'effetto dell'assorbimento della luce, provocato dalle polveri presenti nella nostra galassia), ma piuttosto su tutte le diverse evidenze, che lo avevano portato a stabilire la natura esterna delle *nebulae* a spirale. Tra esse, si annoverava anche l'indiscutibile primato che la nebulosa di Andromeda deteneva, in relazione al numero di stelle *Novae*, di gran lunga superiore a quello registrato in qualsiasi altra regione della nostra galassia. A Curtis pareva molto più logico ritenere che Andromeda fosse una galassia esterna, piuttosto che una regione della nostra galassia, in quanto, se così fosse stato, la nebulosa sarebbe risultata unica, in questa sua caratteristica, rispetto a tutte le altre.

La galassia di Andromeda, M31, è osservabile anche a occhio nudo da tutte le regioni della Terra, ma apparendo molto più alta in cielo, nell'emisfero boreale, la sua visione è più facile per le regioni settentrionali che per quelle australi. Molto meno spettacolare delle due Nubi di Magellano, risulta appena percettibile, senza l'ausilio di un telescopio, e con l'aspetto di un minuscolo batuffolo di cotone evanescente. Il primo a identificarla fu l'astronomo persiano, Abd al-Rahmān al-Sūfi, lo stesso che registrò, per primo, anche l'esistenza della Grande Nube, che chiamò *Al Bakr*. Nel suo manoscritto del 964, *Le stelle fisse*, egli descrisse e disegnò la galassia di Andromeda, a cui volle dare il nome di "piccola nube".

La nebulosa di Andromeda sarebbe stata riscoperta più di 600 anni dopo, il 15 dicembre del 1612, da Simon Marius, astronomo tedesco, che fu allievo di Tycho Brahe e di Keplero e che sarebbe passato alla storia a causa di una disputa avuta con Galileo, in relazione alla paternità della scoperta dei quattro satelliti di Giove.

Quattro anni dopo la pubblicazione del *Sidereus Nuncius*, infatti, Simon Marius diede alle stampe un lavoro, intitolato *Mundus Jovialis*, in cui sostenne di aver identificato, qualche giorno prima di Galileo, le quattro Lune di Giove. Galileo reagì, accusandolo di plagio, ma successivamente, per ironia della sorte, i quattro satelliti di Giove avrebbero preso proprio i nomi (Io, Europa, Ganimede e Callisto) che erano stati scelti da Simon Marius.

Nonostante l'osservazione di Curtis sul numero eccessivo di *Novae* in Andromeda fosse più che ragionevole, proprio su Andromeda e proprio sulle *Novae*, anzi, su una di esse, in particolare, si concentravano le posizioni degli astronomi, che in maggioranza erano contrari alla natura extragalattica di ogni genere di *nebulae*, spirali comprese.

Nel 1885, era esplosa una Supernova in Andromeda, a tutt'oggi l'unica registrata in quella galassia, e l'evento era stato notato da Ernst Hartwig, che all'epoca lavorava all'Osservatorio di Dorpat, nell'odierna Estonia, lo stesso da cui von Struve aveva misurato, quasi 50 anni prima, la parallasse della stella Vega. Nessuno conosceva la differenza fra una Nova e una Supernova e tutti erano convinti che esistessero solo le stelle *Novae*. La presunta Nova del 1885 era risultata enormemente più luminosa di tutte le *Novae*, che si erano manifestate precedentemente, talmente brillante da risultare comparabile, per luminosità, alle regioni centrali di Andromeda. La maggioranza degli astronomi, che era contraria alla natura extragalattica delle *nebulae*, trovava proprio nella Nova il sostegno alla propria convinzione, poiché se Andromeda fosse stata esterna alla nostra galassia, la Nova avrebbe avuto una luminosità intrinseca, al massimo, del tutto inaccettabile, in quanto pari a quella derivante dalla somma di alcuni miliardi di stelle come il Sole. A loro pareva molto più logico ritenere che la stella in questione fosse una Nova e che Andromeda fosse una regione interna alla nostra galassia.

Curtis, naturalmente, non era d'accordo e vedeva la prova dell'esistenza di due diversi tipi di *Novae*, caratterizzati da una diversa massima luminosità, proprio nella differenza di luminosità osservata della presunta Nova del 1885 con tutte le altre *Novae* che si erano manifestate nel corso degli anni in Andromeda e che sulle lastre fotografiche risultavano di gran lunga più deboli.

Curtis aveva ragione, ma sarebbe trascorsa una quindicina di anni prima che Walter Baade, lo scopritore delle due diverse popolazioni stellari, e Fritz Zwicky, astro-

uomo svizzero, che avrebbe lavorato, dal 1925, al *Caltech* (*Californian Institute of Technology*), coniarono nel 1934 il termine di “Super-Nova”, ipotizzando correttamente che il fenomeno a carattere esplosivo fosse da interpretarsi come dovuto al collasso gravitazionale di una stella che avrebbe lasciato come “reliquo” un oggetto molto compatto: una stella di neutroni. Del resto, anche questa intuizione di Baade e Zwicky, che seguiva di soli due anni la rivelazione sperimentale dell’esistenza dei neutroni, non avrebbe avuto molto credito. Si sarebbe dovuto attendere il 1967, anno in cui una giovane radioastronoma inglese, Jocelyn Bell (che stava svolgendo il dottorato, sotto la direzione di Antony Hewish), avrebbe scoperto casualmente la presenza di un segnale pulsato molto regolare proveniente da M1, la Nebulosa del Granchio, e derivante dalla rapidissima rotazione della stella di neutroni, racchiusa in essa, che era quanto rimaneva dell’esplosione della Supernova, registrata dai cinesi nel 1054.

Ritornando al 26 aprile del 1920, Curtis portò a sostegno della natura extragalattica di Andromeda anche un altro importante dato osservativo, riguardante lo spettro, che l’astronomo statunitense Vesto Melvin Slipher era riuscito a ottenere diversi anni prima, nel 1912, utilizzando il rifrattore (dotato di una lente di 61 cm di diametro) dell’Osservatorio Astronomico di Lowell, situato nei pressi della cittadina di Flagstaff, in Arizona. Non era stata un’impresa facile, la sua: la quantità di luce che ci arriva da Andromeda, infatti, è pochissima e Slipher aveva dovuto esporre la lastra per un periodo di tempo che sfiorava le 40 ore. Questo significava che aveva dovuto riporre la lastra entro una scatola, al termine di ogni notte di osservazione, e riprendere l’acquisizione fotografica dello spettro (dopo aver riposizionato il telescopio in direzione di Andromeda e ricollocato la lastra al fuoco dello spettroscopio) la notte successiva. Un’operazione che si era ripetuta per una decina di notti, dal momento che, per evitare la perdita di luce, provocata dall’assorbimento atmosferico, è opportuno osservare un oggetto quando è alto nel cielo e quindi in un periodo che precede e segue di circa due ore il momento della sua culminazione.

Il risultato ottenuto da Slipher, tuttavia, si era rivelato degno della fatica spesa, poiché lo spostamento, verso il blu, delle righe di assorbimento, nello spettro della galassia, aveva rivelato una velocità di avvicinamento pari a 300 km/s. Le righe di assorbimento erano dovute al contributo di tutte le stelle di Andromeda (in

quanto il gas caldo manifesta la propria presenza attraverso le righe in emissione) e, dal momento che le stelle appartenenti alla nostra galassia mostravano velocità radiali più piccole di un ordine di grandezza (tipicamente intorno ai 20 km/s), il valore che Slipher aveva misurato per la nebulosa di Andromeda, ne suggeriva una natura non locale.

Slipher non si era fermato, naturalmente, a quell'importante risultato e, nel corso dei cinque anni successivi, aveva ottenuto lo spettro di altre 24 nebulose a spirale, che avevano confermato quanto aveva evidenziato per Andromeda: tutte avevano mostrato, infatti, velocità di avvicinamento o di allontanamento dell'ordine di alcune centinaia di chilometri al secondo e, per quattro di esse, le velocità di allontanamento erano risultate addirittura superiori ai 1.000 km/s.

Incredibilmente, il risultato di Slipher era passato quasi inosservato, in quanto la maggioranza degli astronomi era ostinatamente a favore di una natura locale di tutte le *nebulae* e di un Universo che avrebbe dovuto limitarsi a comprendere soltanto la nostra galassia.

Contro l'evidenza sperimentale di Slipher, si era espresso, invece, riscuotendo un maggiore consenso, l'astronomo, di origini olandesi, Adrian Van Maanen, che dal 1911 lavorava all'Osservatorio di Mount Wilson e nel 1916 si era messo alla ricerca di possibili mutamenti nella nebulosa a spirale M101, una galassia (che oggi sappiamo essere distante più di 20 milioni di *anni luce*) con un disegno talmente bello e appariscente da averle fatto guadagnare il soprannome di "Girandola". Utilizzando un microscopio lampeggiatore, ovvero uno strumento capace di alternare la visione di due lastre, Van Maanen aveva confrontato alcune lastre fotografiche di M101, prese in anni diversi, e le differenze, che egli sosteneva di aver visto, relativamente alla posizione di alcune stelle molto luminose, lo avevano indotto a ritenere di essere riuscito a osservare la rotazione delle braccia della nebulosa attorno al centro. L'astronomo olandese ne aveva concluso che M101 dovesse appartenere, senza ombra di dubbio, alla nostra galassia, perché, se fosse stata una nebulosa esterna, le stelle localizzate nelle sue braccia avrebbero ruotato a una velocità superiore a quella della luce che, in accordo con quanto stabilito dalla teoria della relatività ristretta e verificato dalle osservazioni, costituisce un limite massimo e invalicabile. Cinque anni dopo, nel 1921, Van Maanen avrebbe sostenuto di aver osservato la rotazione delle braccia di altre tre nebulose a spirale e Shapley, all'epoca già

direttore dell'Harvard College, si sarebbe complimentato con lui, inviandogli un biglietto, dal seguente contenuto: «Congratulazioni per i risultati sulle nebulose! Abbiamo messo un freno agli universi isola, lei avvicinando le spirali e io espandendo la Galassia. Siamo davvero bravi, noi!» (Hoskin 2001, p. 259).

Il risultato di Van Maanen si sarebbe rivelato, in seguito, essere del tutto errato, ma, in effetti, Shapley era stato molto bravo, perché, nonostante fosse un oratore molto meno abile di Curtis, il 26 aprile del 1920 aveva avuto la meglio su di lui e la discussione sulla natura delle *nebulae*, non ancora conclusa, continuava a vedere la maggioranza degli astronomi contraria all'idea degli "universi isola". A 30 anni di distanza dalla pubblicazione, nel 1890, del libro *Stars and the System* a opera di Agnes Mary Clerke (famosa storica dell'astronomia irlandese), in cui la nostra galassia compare, già nel titolo, come l'unico "sistema" possibile nell'Universo, gli astronomi, in maggior parte, erano ancora arroccati sulla posizione che l'autrice ben sintetizza nei termini riportati all'inizio di questo capitolo.

Qualcosa, però, stava per cambiare, proprio a cavallo di quel fatidico 26 aprile del 1920 che aveva visto Shapley e Curtis porsi a diretto confronto su posizioni estremamente diverse. Pochi mesi prima, un giovane, dotato di grandi capacità, che non si limitavano solo alla scienza, Edwin Powell Hubble, ottenuto il congedo dall'esercito, aveva deciso di accogliere l'invito di entrare a far parte del personale dell'Osservatorio di Mount Wilson, che il direttore, George Ellery Hale, gli aveva rivolto nel 1917. Edwin Hubble poteva così iniziare un'attività astronomica, che si sarebbe rivelata molto proficua. Non era stato facile, per lui, raggiungere quel traguardo: il padre lo voleva a tutti i costi avvocato ed egli aveva dovuto, pertanto, rassegnarsi a studiare e a laurearsi in legge, all'Università di Chicago, nonostante la sua grande passione fosse l'astronomia. Dopo aver ottenuto la prestigiosa borsa di studio *Rhodes*, che gli aveva permesso di trascorrere un anno all'Università di Oxford, rientrato negli Stati Uniti, aveva deciso di dedicarsi, finalmente, agli studi di carattere astronomico, approfittando del fatto che l'Università di Chicago aveva un proprio osservatorio, quello di Yerkes (situato nel Wisconsin, nei pressi del villaggio di Williams Bay), che era stato fondato dallo stesso Hale nel 1897 e che era dotato, all'epoca, del telescopio rifrattore che, con la lente dal diametro di 102 cm, era il più grande del mondo. Nel 1917, dopo aver ottenuto il dottorato in astronomia con una tesi, dal titolo *Photographic Investigations of Faint Nebulae*, e ricevuto

l'allettante offerta di Hale, Edwin aveva deciso di arruolarsi come volontario per la Grande Guerra. Per sua fortuna, nonostante fosse stato inviato in Francia, non si era trovato a dover combattere in prima linea.

Nel 1923, compreso che l'argomento caldo era quello delle *Novae* in Andromeda, Edwin Hubble pensò di dedicarsi sistematicamente alla loro ricerca e, quasi fosse il segno di un benevolo destino, trovò una *Nova* nella prima lastra che prese in mano. A Mount Wilson, esisteva un'ampia collezione di lastre fotografiche che erano state acquisite, a partire dal 1909, proprio su Andromeda, prevalentemente col riflettore da 1,5 m. Hubble si mise, dunque, di buona lena a cercare tra esse quelle relative al campo in cui aveva identificato la *Nova* e ne trovò ben 60. Esaminandole tutte quante con estrema cura, capì che quella che aveva creduto essere una *Nova* era, in realtà, una stella variabile (Fig. 13) e, misurandone l'annerimento sulle lastre, poté tracciarne la curva di luminosità. Questa gli parve molto simile a quelle trovate da Henrietta Leavitt per le Cefeidi della Piccola Nube e Hubble decise, quindi, di osservarla in modo continuativo, per poterne confermare la natura. Acquisì, pertanto, notte dopo notte, una lunga serie di lastre, che gli consentirono di stabilire che la curva di luminosità era proprio quella caratteristica delle Cefeidi e di determinare con esattezza il periodo di variabilità, che risultò di poco maggiore a 31 giorni. La Leavitt aveva mostrato che, quanto più lungo era il periodo, tanto maggiore era la luminosità intrinseca massima della Cefeide, pertanto la Cefeide trovata da Hubble doveva essere molto luminosa, nonostante la sua luminosità osservata fosse talmente piccola da risultare appena percettibile sulle lastre e questa era proprio la ragione per cui nessuno, prima di Hubble, aveva notato questa stella variabile in Andromeda. Se la luminosità intrinseca era grande e quella osservata era piccola, l'unica spiegazione plausibile stava nella distanza (cfr. nota 8) della Cefeide, che risultò pari a un milione di *anni luce* e collocò, di conseguenza, la nebulosa di Andromeda a una distanza che era più di tre volte maggiore del diametro, che Shapley aveva attribuito alla nostra galassia.

Così, nonostante Shapley avesse sovrastimato la dimensione della nostra galassia e Hubble avesse sottostimato la distanza di Andromeda, poiché (analogamente a quanto aveva fatto Hertzsprung alcuni anni prima) aveva attribuito alla Cefeide una luminosità intrinseca inferiore al valore reale, Andromeda risultava definitivamente una nebulosa esterna alla nostra.

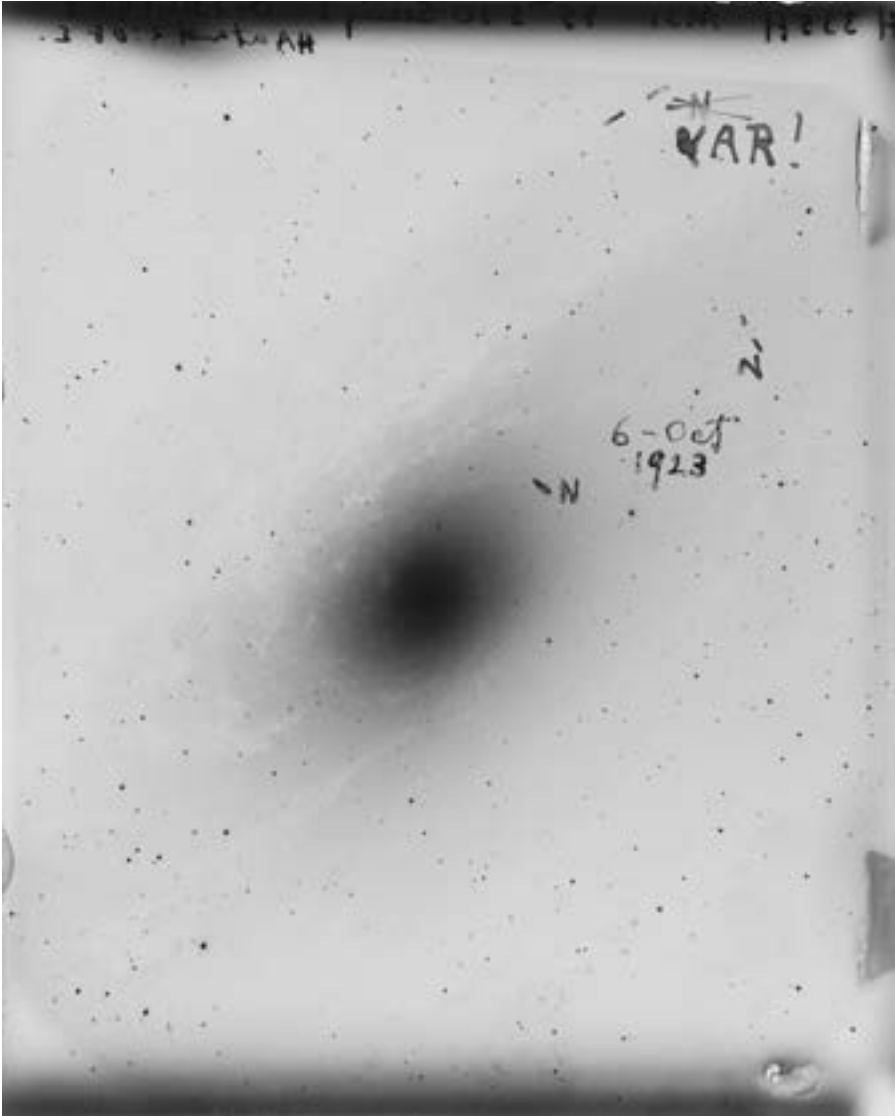


Fig. 13. La storica lastra che riporta la correzione effettuata da Edwin Hubble che cancellò la lettera N (che stava per Nova) per sostituirla con la scritta VAR (che stava per “variabile”) seguita da un punto esclamativo (Courtesy of Carnegie Institution for Science/Edwin Hubble).

Se Andromeda, in cui Hubble identificò anche una seconda Cefeide e sette stelle *Novae*, era una nebulosa esterna, non vi era più ragione per considerare interne alla nostra galassia le altre *nebulae* a spirale, né quelle *nebulae* prive di alcun disegno, ma che avevano una forma tondeggiante, regolare e ben definita, di cui lo stesso Curtis aveva già sostenuto la natura esterna, avendo notato che si distribuivano in modo simile alle spirali ed evitavano il piano della nostra galassia. Hubble si mise, pertanto, d'impegno a studiare le caratteristiche delle nebulose extragalattiche e, nel 1926, le suddivise in tre classi fondamentali: ellittiche, spirali e irregolari.

Non tutte le galassie mostravano, infatti, il disegno a spirale ed erano pertanto dotate di un disco: le galassie ellittiche, ad esempio, avevano solamente il *bulge* e gli studi successivi avrebbero provato che in esse la formazione stellare era avvenuta durante un singolo evento e tutte le stelle appartenevano, di conseguenza, alla stessa generazione, ovvero quella che Baade avrebbe chiamato la popolazione II. Le spirali, dal canto loro, non si presentavano come una categoria uniforme di oggetti: in alcune, quelle che Hubble definì "Sa", il *bulge* e le braccia erano estremamente pronunciati, mentre in altre, quelle che chiamò "Sc", il *bulge* era piccolo e le braccia deboli e frammentate. Tra questi due tipi, Hubble aveva introdotto una terza categoria, quella delle "Sb", che mostravano caratteristiche intermedie. Successivamente, egli avrebbe identificato delle galassie a spirale, col *bulge* più piccolo e con le braccia più dissolte delle "Sc", che avrebbe classificato come "Sd", e infine avrebbe osservato anche le "Sm", spirali magellaniche, ossia galassie che avevano perso quasi totalmente il *bulge* e le braccia e rappresentavano l'anello di congiunzione tra le spirali e le Nubi di Magellano.

A Hubble parve immediatamente che nella sua classificazione mancasse qualcosa, ovvero un tipo di galassia che avrebbe dovuto avere il *bulge* e il disco, ma essere priva del disegno a spirale. Era così convinto che questo genere di galassia, a cui diede il nome di "S0", dovesse esistere, che introdusse la categoria nello schema che rappresentava la sua classificazione, prima ancora di averne osservata almeno una. La sua intuizione era corretta, ma non era facile rivelare sulle lastre le "S0" (che in virtù della loro forma, che ricorda quella di una lente, sono dette anche "lenticolari"), poiché, se viste "di faccia", potevano essere scambiate per ellittiche, mentre "di taglio" erano indistinguibili dalle "Sa", le spirali dotate di un *bulge* di tutto rispetto. Era necessario, quindi, che le "S0" si mostrassero con un'inclinazio-

ne intermedia tra le due estreme, sopra elencate, e pertanto favorevole a chi avrebbe dovuto identificarle. Hubble impiegò quasi dieci anni per ottenere la certezza dell'esistenza delle "S0", che si sarebbero rivelate essere, oltretutto, abbastanza rare, ma nel 1936 poté aggiungere questa categoria di galassie alla sua classificazione, che viene tuttora utilizzata.

Nel frattempo, era riuscito a evidenziare, nel 1929, una relazione (Fig. 14) che lo avrebbe fatto passare alla storia. La relazione (lineare) tra la velocità di recessione delle galassie e la loro distanza (a cui sarebbe stato dato in seguito il nome di "legge di Hubble"¹⁰) aveva questa forma: $v = 513 d$. In essa, v rappresentava la velocità di allontanamento radiale delle galassie, espressa in km/s, d la loro distanza, espressa in *Megaparsec* (*Mpc*), e la costante di proporzionalità 513 risultava espressa, di conseguenza, in $km\ s^{-1}\ Mpc^{-1}$.

Per derivarla, Hubble aveva ottenuto, col telescopio Hooker di Mount Wilson (che, col suo specchio di 2,5 m di diametro, era il più grande del mondo), gli spettri di qualche decina di galassie "astronomicamente vicine", ossia comprese entro alcuni *Megaparsec*, corrispondenti ad alcune centinaia di migliaia di *anni luce* di distanza. Da essi, misurando lo spostamento delle righe di assorbimento verso il rosso, era riuscito a ottenere le velocità di allontanamento delle galassie, mentre, per stimare le loro distanze, si era servito delle "candele standard", che era riuscito a identificare in ciascuna galassia: per le più vicine erano state le Cefeidi, per le più lontane le stelle blu più luminose degli ammassi e le *Novae*. Le Cefeidi erano indubbiamente le migliori "candele standard", grazie alla relazione trovata dalla Leavitt, se non fosse stato che la calibrazione della loro luminosità intrinseca era affetta da un errore, dipendente dal metodo (quello della parallasse statistica) che era stato utilizzato per determinarla, che aveva portato Hubble a sottostimare di quasi un fattore tre la distanza di Andromeda, sei anni prima. Le stelle blu e le *Novae* erano "candele" molto meno precise, poiché non avevano una luminosità intrinseca, che fosse esattamente uguale per tutte. Inoltre, anche su di esse, gravava l'errore che aveva afflitto la calibrazione della luminosità intrinseca delle Cefeidi. Per effetto della sottostima delle luminosità intrinseche delle "candele standard", tutte le distanze risultarono sottostimate (cfr. nota 8) e questa è la ragione per cui la costante di proporzionalità, pari a 513, che avrebbe preso in seguito il nome di "costante di Hubble", risultò sovrastimata. Il suo valore sarebbe diminuito, negli

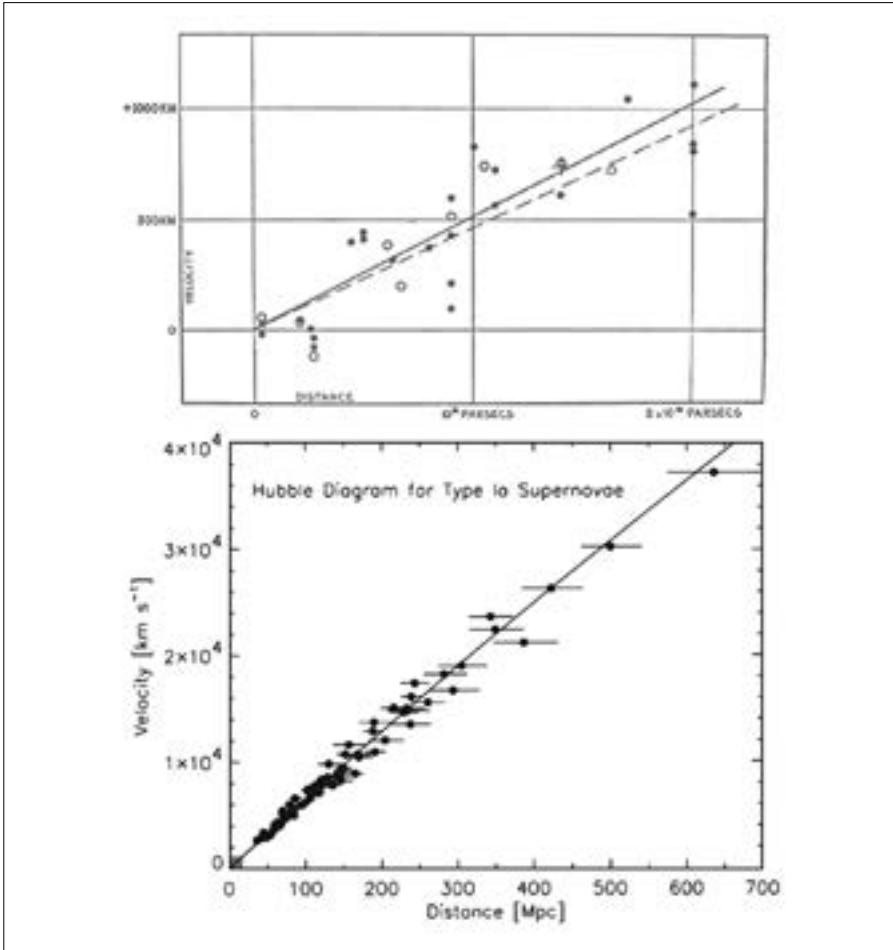


Fig. 14. In alto, la relazione trovata da Edwin Hubble nel 1929, presentata nell'articolo *A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae* (cfr. Bibliografia). Come si può vedere le relazioni, in effetti, sono due e corrispondono alle linee continua e tratteggiata. È proprio quest'ultima, derivata raggruppando le 24 galassie (pallini neri), di cui Hubble aveva determinato le distanze, in 9 gruppi (i pallini bianchi) per i quali egli suppose che fossero gravitazionalmente legati, a fornire il valore di 513 km/sec/Mpc. La croce, infine, rappresenta la distanza media delle 22 galassie, di cui Hubble non poté determinare individualmente la distanza, che derivò utilizzando la sua relazione. In basso, invece, è mostrata la relazione di Hubble come ottenibile con i dati sulle *Supernovae Ia* che consentono di raggiungere distanze di diverse centinaia di *Mpc* (il quadratino in basso a sinistra, prossimo all'origine delle coordinate, indica la regione investigata da Hubble nel 1929). Questo secondo grafico è la riproduzione della Fig. 3, tratta dall'articolo *Hubble's diagram and cosmic expansion* di R.P. Kirshner pubblicato nel 2004 (in *PNAS*, 101, 8:13) ©2004 National Academy of Sciences, USA.

anni a venire, grazie al lavoro di due astronomi, Allan Sandage e Gérard de Vaucouleurs, che, similmente a quanto avevano fatto Shapley e Curtis, si sarebbero fronteggiati, a partire dalla fine degli anni Cinquanta del Novecento, per tre decenni, portando numerose evidenze a sostegno di due valori abbastanza diversi. Allan Sandage che, lavorando all'Osservatorio di Monte Palomar, gestito dal *Caltech*, avrebbe avuto accesso al telescopio, che coi suoi 5 m di diametro dello specchio sarebbe stato, a partire dal 1948, per una trentina d'anni, il riflettore più grande del mondo, avrebbe derivato un valore di $50 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ per la costante di Hubble, mentre Gérard de Vaucouleurs, di origini francesi, che, dopo aver lavorato in diversi paesi e in vari osservatori, si sarebbe stabilito all'Università del Texas, ad Austin sarebbe stato strenuamente a favore di un valore esattamente pari al doppio. La discordanza tra i due valori mostra, qualora ve ne fosse bisogno, quanto complesso e impervio sia stato il cammino volto a stabilire, passo dopo passo, la distanza degli oggetti astronomici via via più lontani.

Negli ultimi anni, la misura delle distanze si è fatta sempre più precisa e le stime più recenti della costante di Hubble fondate, oltre che sulle osservazioni, anche sui modelli, che descrivono la nascita e l'evoluzione dell'Universo, la pongono entro un intervallo di valori molto più limitato, compreso tra i 67 e i $74 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$.

Hubble, del resto, non avrebbe potuto fare di meglio: alla sua epoca, l'ottenimento di ciascuno dei 24 spettri, che costituivano il suo minuscolo campione, gli era costato un tempo di posa dell'ordine di alcune decine di ore. Questo significava che, analogamente a quanto aveva fatto Slipher, aveva dovuto esporre la stessa lastra per diverse notti. Non avrebbe potuto spingersi, quindi, troppo lontano, come sarebbe stato possibile successivamente, né collezionare un numero di spettri che gli garantisse di definire con maggiore accuratezza la sua relazione. Oltre ad avere tutte le distanze sottostimate, le galassie utilizzate da Hubble avevano anche le velocità contaminate dalla presenza di una componente peculiare, dovuta a movimenti indotti dall'effetto gravitazionale, che l'ambiente prossimo esercita su ciascuna galassia. Le velocità peculiari sono dell'ordine di alcune centinaia di chilometri al secondo e quindi il loro effetto perturbativo non era trascurabile sul campione di galassie di Hubble, le cui velocità erano dello stesso ordine di grandezza, e provocava una dispersione enorme dei dati, attorno alla retta che definiva la relazione.

Hubble, seppure con tutti i limiti legati al suo campione, era riuscito comunque a evidenziare la presenza di una relazione lineare tra la velocità e la distanza che non poteva essere interpretata in altro modo, se non come l'effetto dell'espansione dello spazio. Non erano quindi propriamente le galassie a muoversi, ma lo spazio che, espandendosi "sotto di esse", se le trascinava, per così dire, dietro, come se, con un'analogia bidimensionale (che costituisce un'estrema semplificazione del caso reale), le galassie fossero dei puntini incollati su un pallone, che si sta gonfiando: tanto più lontane si trovano sulla superficie del pallone, tanto maggiore sembrerà la velocità, con cui si stanno allontanando per effetto dell'espansione.

La scoperta di Hubble fu accolta con un grande sollievo da Albert Einstein, perché gli permise di eliminare dal modello di Universo, che aveva formulato nel 1917 (nell'ambito della teoria della relatività generale, che aveva sviluppato e proposto appena un anno prima), la costante che aveva dovuto inserire *ad hoc*, per contrastare l'effetto della forza di gravità. La costante cosmologica, che lo stesso Einstein avrebbe definito a seguito della scoperta di Hubble, "il più grave errore" della sua vita, aveva perso la sua funzione, perché l'espansione dell'Universo non rendeva più necessaria la sua presenza.

L'espansione, trovata sperimentalmente da Hubble, ma ipotizzata, un paio di anni prima, dall'astronomo gesuita belga Georges Edouard Lemaître (il cui articolo, scritto in francese, non aveva potuto avere la risonanza di quello del collega statunitense), era proprio l'ingrediente fisico necessario a mantenere l'Universo in vita, provocandone, in dipendenza della massa in esso contenuta, un'espansione eterna, oppure un ritorno all'indietro verso un nuovo *Big Bang*, l'evento che aveva dato origine al tutto e in cui alcuni, tra cui lo stesso Lemaître, che lo aveva chiamato "atomo primigenio", avevano voluto vedere addirittura l'intervento creativo operato da Dio.

L'ipotesi del *Big Bang*, formulata dallo stesso Lemaître e ripresa in uno storico lavoro del 1948 a opera¹¹ dei fisici e cosmologi statunitensi Ralph Alpher e George Gamow, non ebbe un successo immediato poiché molti astronomi la trovarono assurda oltre che sconcertante. Tra di essi era il fisico e astronomo britannico Fred Hoyle (uno degli autori del già citato articolo, del 1957, sulla fusione nucleare nelle stelle, famoso anche per i suoi romanzi fantascientifici), che avrebbe avvertito tale ipotesi in tutto l'arco della sua vita. Curiosamente sarebbe stato proprio Hoyle a coniare, in senso spregiativo (nel corso di un'intervista alla BBC del 1949)

l'espressione *Big Bang*, che si sarebbe rivelata, contrariamente alle sue intenzioni, particolarmente felice e di grande effetto mediatico.

Gamow, Alpher e Herman (anch'egli un cosmologo statunitense) avevano mostrato nel 1948 che per effetto del *Big Bang* si sarebbe generata una radiazione cosmica di fondo, ossia una radiazione uniforme che avrebbe permeato l'intero Cosmo e, analogamente a quanto accadeva alle galassie le cui righe negli spettri si andavano spostando verso il rosso, per effetto dell'espansione, avrebbe diminuito progressivamente la propria frequenza e sarebbe stata osservabile, alla nostra epoca, nel dominio spettrale delle microonde. Nel 1964, questa radiazione sarebbe stata casualmente osservata dai due fisici statunitensi dei laboratori Bell, Arno Penzias e Robert Woodrow Wilson, che stavano provando un nuovo tipo di antenna e per questa scoperta avrebbero ottenuto nel 1978 il premio Nobel per la Fisica. La radiazione cosmica di fondo sarebbe divenuta così la seconda prova sperimentale a sostegno del *Big Bang*, l'evento che, 13,8 miliardi di anni fa, avrebbe dato origine al nostro Universo.

Per diverso tempo, si ritenne che al primo *Big Bang* ne sarebbe seguito un altro e poi un altro e poi un altro ancora, in una sorta d'infinito ripetersi di tali eventi. Questo continuo crearsi e disfarsi dell'Universo avrebbe avuto origine dal progressivo rallentamento dell'espansione, provocato dalla forza di gravità (la cui intensità sarebbe stata legata alla quantità di massa presente nell'Universo), che avrebbe preso gradualmente il sopravvento sull'espansione e ricondotto il tutto a collassare in quel punto materiale di densità infinita, la singolarità dello spazio-tempo, da cui queste ultime grandezze, tra loro indissolubilmente connesse, sarebbero state rigenerate a ogni *Big Bang*.

Studi successivi, tuttavia, mostrarono che la massa contenuta nell'Universo, non solo quella di cui siamo costituiti noi e tutti i corpi celesti, ma anche quella "oscura", di cui non conosciamo la natura, ma che fa sentire gravitazionalmente la propria presenza, non sarebbe stata sufficiente a far collassare di nuovo tutto quanto all'indietro e, di conseguenza, il *Big Bang* venne considerato, per un po' di tempo, un episodio unico e non ripetibile. L'Universo sembrò così essere destinato a divenire sempre più grande, sempre più vuoto e sempre più freddo, andando incontro, in modo inesorabile, a qualcosa di tristemente simile alla morte.

Alla fine del secolo passato, uno studio incentrato su un particolare tipo di *Super-*

novae (le cosiddette “Ia”) il cui meccanismo di esplosione non è legato al collasso del nucleo di ferro, ma all'accrescimento di materiale sulla loro superficie, ha mostrato che, contrariamente a ogni ipotesi precedente, il nostro Universo avrebbe già preso a espandersi con maggior vigore e quindi il destino che lo attenderebbe sarebbe una morte, a cui però si starebbe avvicinando, non in modo lento, ma “di corsa”. Le *Supernovae* in questione sono considerate le “candele standard” migliori in assoluto, perché il meccanismo che le porta a esplodere, curiosamente non dissimile¹² da quello che produce le *Novae*, è fisicamente ben determinato e implica una luminosità intrinseca che, oltre a essere estremamente elevata, rendendo questo tipo di *Supernovae* visibili a grandissime distanze, ha un valore soggetto a variazioni minime. Il risultato, del tutto inatteso, sulle *Supernovae* ha mostrato come il termine espansivo, introdotto *ad hoc* da Einstein, potrebbe aver trovato la sua ragione d'essere in forma di quell’“energia oscura”, che sta spingendo l'Universo ad accelerare la propria espansione.

Materia oscura ed energia oscura sarebbero così le componenti fondamentali dell'Universo, al cui bilancio la materia ordinaria, ossia quella di cui siamo costituiti e di cui conosciamo le proprietà, contribuirebbe soltanto con un misero 3%. Su queste due quantità misteriose, la cui natura è tuttora ignota, si concentrano, da diversi anni, ormai, gli sforzi intellettivi dei cosmologi e dei fisici nucleari di tutto il mondo, poiché, se tutto ha avuto inizio, come si pensa, dal *Big Bang*, la relazione tra l'infinitamente piccolo e l'infinitamente grande deve essere molto stretta e, nei primissimi istanti di vita dell'Universo, si devono ricercare gli *imprint* di quella che sarà la sua futura evoluzione.

Un Universo che nasce con un *Big Bang*, che si ripete, come si pensava, nel tempo, oltre a trovare un riscontro di natura filosofica nel pensiero orientale, non richiede necessariamente, nel suo oscillare tra creazione e distruzione, l'esistenza di nessun altro Universo, perché il suo ciclico “essere” e “non essere” può motivarsi, per così dire, da sé. Un Universo che, invece, nasce e muore, lascia aperto un grande interrogativo di carattere filosofico, legato all'evento creativo, che si è scatenato per qualche ragione, ma non potrà più autoalimentarsi. Interessanti teorie, che prevedono che il nostro sia solo uno degli infiniti possibili universi, sono state sviluppate, nel tentativo di rispondere a questo grande quesito, che rimane tuttora irrisolto.

Non è chiaro se si arriverà mai e con quali tempi a comprendere come si sono svolti gli eventi e quale destino attende il nostro Universo ed eventualmente tutti i possibili universi alternativi al nostro, ma resta comunque certa la nostra natura di granelli di polvere insignificanti, seppure di stelle. Possiamo, tuttavia, trovare una grande consolazione, nel constatare, a ragione, che la nostra infinita piccolezza non ci ha impedito di compiere, nel corso della storia, passi da gigante, nel tentativo di comprendere i misteri di quel cielo che da millenni illumina le nostre vite, le nostre speranze e i nostri sogni.

CAPITOLO VIII

LA DIFFICOLTÀ DI VIVERE IN UN UNIVERSO TROPPO GRANDE

Oreste sentirebbe ancora gl' impulsi della vendetta, vorrebbe seguirli con smannosa passione, ma gli occhi, sul punto, gli andrebbero lì, a quello strappo, donde ora ogni sorta di mali influssi penetrerebbero nella scena, e si sentirebbe cader le braccia. Oreste, insomma, diventerebbe Amleto. Tutta la differenza, signor Meis, fra la tragedia antica e la moderna consiste in ciò, creda pure: in un buco nel cielo di carta.

(Luigi Pirandello, *Il fu Mattia Pascal*, 1904, capitolo XII)

Il celebre romanzo di Luigi Pirandello offre al lettore due spunti di carattere astronomico molto interessanti: il primo è la maledizione di Copernico (cfr. Introduzione, p. 7), con cui il protagonista si rivolge all'amico Don Eligio, che lo ha convinto a scrivere sotto forma di memorie la sua paradossale vicenda umana nella *Premessa seconda (filosofica) a mo' di scusa* del romanzo; il secondo è il «buco nel cielo di carta» con cui si è scelto di aprire questo capitolo. A compiere questa seconda riflessione è Anselmo Paleari, pensatore eccentrico, presso cui Adriano Meis/Mattia Pascal ha trovato alloggio a Roma e il riferimento è, non a caso, a uno spettacolo di marionette, in cui sta per essere rappresentata una riduzione dell'*Elettra* di Sofocle.

Il dramma dell'uomo moderno nasce, secondo Pirandello, proprio dalla consapevolezza di non contare più nulla: il cielo non rappresenta più quell'ordine avvolgente, che ha protetto per secoli gli uomini, guidandoli nel loro cammino mortale e indicando loro la via che avrebbero dovuto seguire. Così, nel momento che segna il culmine del dramma di Oreste, che sta per uccidere la propria madre, questi, levati gli occhi al cielo, vi scorge un buco e, perse tutte le proprie certezze, diviene Amleto, l'incarnazione del dubbio.

Mattia Pascal ha accusato Copernico di averci aperto gli occhi «sulla nostra infinita piccolezza», ma in realtà non fu così, nonostante si sia soliti indicare come “rivoluzione copernicana” lo sconvolgente cambiamento di prospettiva, operato dallo scienziato polacco, che avrebbe definitivamente mutato la collocazione dell'uomo nell'Universo. È indubbiamente una definizione molto azzeccata, capace di sintetizzare in due sole parole la straordinarietà dell'innovazione portata da Copernico nel modo di concepire il mondo, che fu introdotta, per la prima volta, da Immanuel Kant nella *Critica della ragion pura*. Il grande filosofo tedesco, infatti, se ne volle servire per paragonare la propria scelta di aver posto l'uomo al centro del processo conoscitivo, ribaltando così il modo tradizionale con cui veniva considerata la conoscenza, con quanto, alcuni secoli prima, aveva fatto Copernico che, dopo aver riscontrato enormi difficoltà nel rappresentare adeguatamente i moti dei corpi celesti, assumendo che ruotassero attorno alla Terra, aveva deciso di cambiare radicalmente il punto di vista.

In verità, sorprendentemente, la “rivoluzione copernicana” non ebbe mai luogo, perché il cambiamento, lungi dall'essere immediato, fu un processo molto lento. L'opera di Copernico rimase per lungo tempo oggetto di analisi e discussione di una cerchia limitata di studiosi e uscì dall'oblio, in cui il corso degli eventi della storia l'aveva relegata, solo nel 1616, quando, per effetto del “caso Galilei”, venne inclusa dalla Chiesa nell'*Indice dei libri proibiti*. Anche allora, tuttavia, gli effetti di questa presunta rivoluzione furono molto limitati: gli uomini di scienza continuarono in gran parte a rimanere vincolati al sistema di Tolomeo e le persone comuni non vennero nemmeno messe a conoscenza del grande cambiamento operato dallo scienziato polacco. Del resto, su chi era costretto a condurre la vita con l'unico intento di fronteggiare quotidianamente le innumerevoli avversità di carattere pratico relative alla sussistenza e che, proprio per questa ragione, al centro

dell'Universo non aveva avuto modo di sentirsi mai, la rivoluzione di Copernico non avrebbe comunque avuto alcun effetto.

Molto più sconvolgente e con un impatto quasi immediato sulle persone fu, invece, una rivoluzione astronomica che, paradossalmente, non viene mai ricordata, né citata al di fuori dell'ambiente accademico, in cui è nota come il "Grande Dibattito", che si concluse agli inizi del XX secolo, dopo una ventina di anni di intense discussioni, con l'inequivocabile prova, portata da Edwin Hubble, dell'esistenza di innumerevoli galassie esterne, del tutto simili alla nostra. Proprio da essa avrebbero avuto origine il radicale cambiamento del modo di concepire l'Universo e l'inizio di un processo irreversibile, che avrebbe reso gli uomini sempre più piccoli.

È interessante notare che quando Pirandello scrisse *Il fu Mattia Pascal*, il "Grande Dibattito" stava avendo luogo. Non è possibile sapere se lo scrittore siciliano fosse a conoscenza della discussione che stava animando la comunità astronomica e abbia inconsciamente attribuito a Copernico una colpa che sarebbe stata, di lì a pochi anni, di un astronomo della sua epoca. Quello che è certo è che, a differenza di quanto era avvenuto 400 anni prima, la diffusione delle notizie che riguardavano le scoperte scientifiche era già molto ampia, agli inizi del secolo passato, e coinvolgeva anche i "non addetti ai lavori" e, pertanto, non si può escludere che Pirandello abbia avuto qualche informazione al riguardo.

Appena pochi anni dopo aver dimostrato la natura extragalattica della nebulosa di Andromeda, lo stesso Edwin Hubble avrebbe trovato la relazione che lega la velocità di allontanamento delle galassie alla loro distanza, che sarebbe risultata interpretabile soltanto assumendo un evento, il cosiddetto *Big Bang*, avvenuto in un passato talmente remoto da essere difficile da immaginare – 13,8 miliardi di anni fa – attraverso cui avrebbe avuto origine, oltre che l'Universo, anche lo spazio-tempo.

Una ventina di anni prima che Hubble, con una manciata di galassie, mostrasse l'esistenza della relazione, a cui sarebbe stato successivamente attribuito lo status di "legge", con affiancato il suo cognome, Albert Einstein aveva pubblicato una teoria del tutto innovativa – la relatività ristretta – in cui aveva mostrato come il tempo, che già Galileo, nel *Dialogo*, aveva considerato una quarta coordinata da aggiungere alle tre con cui siamo soliti definire lo spazio, non fosse uguale per tutti i sistemi che si muovono di moto rettilineo uniforme (e che in termini scientifici,

sono chiamati “sistemi inerziali”), come aveva ritenuto Galileo, ma variasse in funzione della velocità che un sistema poteva avere rispetto a un altro. Con Einstein, quindi, il tempo, considerato fino ad allora un’oggettiva certezza, era divenuto una grandezza relativa.

È singolare che la pubblicazione de *Il fu Mattia Pascal* sia avvenuta appena un anno prima della pubblicazione della teoria della relatività ristretta di Einstein e questa quasi contemporaneità di eventi, che avrebbero dato grande fama e risonanza sia allo scrittore che allo scienziato, non passò assolutamente inosservata. Molti si chiesero se i due si conoscessero e si fossero influenzati a vicenda, anche se, a guardarlo bene, il relativismo di Pirandello è totalmente incentrato sulle problematiche dell’*Io* e non sembra avere nulla a che vedere con la sconvolgente teoria di Einstein. In realtà, Pirandello ed Einstein non si erano mai conosciuti, ma a seguito di questo essere stati accomunati, per aver affrontato entrambi, seppure da punti di vista assai diversi, il problema del relativismo, decisero di farlo e così si incontrarono alcune volte nelle città europee, che avrebbero ospitato le esibizioni teatrali delle opere del drammaturgo siciliano. Il loro rapporto, basato su cordiali scambi di opinione, si sarebbe tuttavia deteriorato a seguito del corso degli eventi della storia, che avrebbero visto lo scrittore siciliano aderire con entusiasmo al fascismo e lo scienziato tedesco, di origini ebraiche, abbandonare, invece, il proprio paese. L’ultimo incontro, non più troppo amichevole, tra i due sarebbe avvenuto nel *campus* universitario di Princeton nel 1935, a seguito di una trasferta statunitense del drammaturgo siciliano (fresco di premio Nobel per la Letteratura), durante la quale, nel corso di una conferenza stampa, egli avrebbe difeso, non senza incontrare aspre polemiche, la politica coloniale espansionistica del Governo italiano.

Tornando a Hubble, i suoi risultati sarebbero stati determinanti per far prendere all’Universo una piega del tutto nuova, che lasciava ben poco spazio all’uomo. Il Sole, non più al centro della galassia da diversi anni, ora non si trovava nemmeno a far parte di una galassia speciale e, ovunque gli uomini cercassero di volgere lo sguardo, l’Universo non faceva altro che rimandare loro indietro le immagini di enormi spazi pieni di vuoto.

Privati dapprima del Cielo, poi del centro e ora di un ruolo di una qualche, seppur minima, importanza, gli uomini che per lungo tempo si erano sentiti creature speciali e protette dalle divinità, che vegliavano sopra di loro aiutandoli

ad allontanare dalle loro menti l'insopportabile idea di essere destinati a finire nel nulla più assoluto, si trovavano, tutto a un tratto, a dover affrontare una realtà inaccettabile. A rincarare la dose, era stata anche la teoria dell'evoluzione, proposta da Charles Darwin una sessantina di anni prima che, dalla spietata indifferenza che l'Universo pareva mostrare nei confronti dell'uomo, sembrava trovare una totale conferma.

Gli anni a cavallo fra Ottocento e Novecento hanno regalato all'umanità un'enorme quantità di scoperte scientifiche, le cui ricadute tecnologiche hanno cambiato profondamente il modo di vivere: tutto quanto attiene all'aspetto pratico è divenuto sempre più facile, ma a esso si è accompagnata una consapevolezza sempre maggiore che non siamo altro che minuscoli granelli di polvere, seppure di stelle, abbandonati su una piccola "palla" che si muove incessantemente in mezzo al nulla. Il rapporto privilegiato fra l'Uomo e il Cosmo, incrinatosi progressivamente nel corso dei secoli, è stato rotto, infatti, definitivamente proprio agli inizi del Novecento, quando siamo stati costretti ad accettare che il nostro Sole si trova alla periferia di una galassia anonima, simile a tantissime altre, alla deriva in uno spazio enorme, costituito prevalentemente dal vuoto, del tutto indifferente a noi e alla nostra sorte.

Non si può escludere che sia stata proprio questa consapevolezza a provocare, quantomeno in parte, il malessere legato alla frammentazione dell'*Io*, che inizia a manifestarsi con forza, proprio agli inizi del Novecento, attraverso le diverse forme artistiche, che mostrano d'improvviso la perdita di ogni legame di continuità con quelle che erano state tutte le tradizioni precedenti, proponendo forme e modi espressivi di rottura.

Il male di vivere dell'uomo, a cui la scienza ha definitivamente spazzato via tutte le solide convinzioni filosofiche e religiose che lo avevano fatto sentire per secoli, se non addirittura per millenni, il protagonista del Cosmo, pare già emergere con forza nel celebre dipinto dell'artista norvegese Edvard Munch, in quell'*Urlo*, del 1893, che tanto bene sembra interpretare un'angoscia esistenziale profonda e insanabile. Non è un caso che sia proprio questo dipinto a essere considerato l'anticipatore di quelli che sarebbero stati i temi caratteristici del movimento culturale dell'Espressionismo, ossia, oltre all'angoscia esistenziale, la crisi dei valori etici e religiosi, la solitudine umana, l'incombere della morte e l'incertezza del futuro.

Così come nell'*Urlo* il volto distorto dal grido ne vuole rappresentare in modo efficace l'amplificazione, facendola sconfinare, con quella stessa forma, nel mare e in un cielo striato di un rosso altamente improbabile, anche per gli espressionisti la realtà non potrà più essere considerata tale, avendo perso ogni connotato che la possa rendere oggettiva, e risulterà di conseguenza deformata e filtrata dalle tensioni emotive dell'artista.

Del resto il nome stesso, *Die Brücke*, ovvero "il Ponte", scelto dai quattro giovani studenti di architettura dell'Università di Dresda per il movimento che costituirono nel 1905, voleva, nelle loro intenzioni, proprio indicare simbolicamente lo stretto collegamento tra l'interiorità e l'esteriorità. I giovani artisti, che sono considerati i fondatori dell'Espressionismo, ritenevano, infatti, che fosse assolutamente necessario superare la logica della riproduzione realistica e abolire la tridimensionalità, che consideravano essere nient'altro che "falso spazio e falso volume". È difficile non cogliere, in quest'ultima definizione, l'assonanza col pensiero di Albert Einstein, che proprio in quello stesso anno avrebbe pubblicato la teoria della relatività ristretta, mettendo in crisi definitivamente il concetto che per secoli aveva visto lo spazio come un'entità assoluta del tutto separata dal tempo.

Quanto appena affermato non vuole lasciar intendere che le scoperte, seppure sconvolgenti, della fisica e dell'astronomia possano essere state l'unica fonte di ispirazione per la produzione artistica dell'inizio del secolo passato, poiché sarebbe del tutto sbagliato voler trovare a ogni costo una stretta relazione di causa-effetto, riducendo la complessità delle emozioni umane, da cui traggono origine le diverse espressioni artistiche, a un semplice fattore da inserire in un'equazione.

Tornando a Munch, ad esempio, i gravissimi lutti che egli subì nell'infanzia ebbero certamente un peso molto più determinante di quella che poteva essere la sua eventuale consapevolezza dei grandi sconvolgimenti scientifici, che si stavano annunciando, su diversi fronti, alla sua epoca, e quindi l'*Urlo*, lungi dal voler rappresentare il pianto disperato dell'intero genere umano, che stava perdendo tutte le proprie sicurezze e convinzioni, intendeva essere, molto più probabilmente, un'espressione del proprio personale malessere interiore.

Non si può negare, tuttavia, che l'ambiente esterno eserciti una certa influenza sugli artisti, essendo questi ultimi, per natura, interpreti acutissimi delle tensioni, delle aspirazioni, delle consuetudini e delle contraddizioni del loro tempo e che di

conseguenza ogni opera artistica risulti legata, in qualche modo, al periodo storico in cui viene realizzata. Se, però, si volesse tentare di quantificare il contributo che l'ambiente esterno può aver avuto sia sull'opera di Munch sia su quelle degli artisti che a lui si sarebbero ispirati, si dovrebbero tenere in debito conto anche tutti i fattori politici e sociali che avrebbero portato di lì a poco l'Europa ad autodistruggersi in un terribile conflitto fratricida. Un compito di difficile, se non impossibile soluzione, perché le vicende umane della storia sono tutte connesse tra di loro ed è molto complicato stabilire anche quale ruolo possa aver giocato la crisi dell'*Io*, provocata dalle scoperte scientifiche, sullo svolgimento di tutti gli eventi, che avrebbero portato allo scoppio della Prima Guerra Mondiale, o in che misura questi ultimi possano aver contribuito alla crisi dell'*Io*. Gli anni che vedranno lo svolgersi del "Grande Dibattito", la formulazione della teoria di Planck fondata sull'esistenza dei quanti di luce e la bizzarra connessione tra lo spazio e il tempo mostrata da Einstein nella relatività ristretta saranno proprio quelli che porteranno alla guerra terribile, che muterà definitivamente l'assetto politico dell'Europa e dalle cui conseguenze si scatenerà un secondo conflitto, ancora più orribile, che sarà preceduto da una serie di eventi, destinati a rimanere tristemente noti per la loro cinica empietà.

Ritornando alle avanguardie artistiche di inizio Novecento, pressoché contemporaneo all'Espressionismo sarebbe stato il Cubismo, la cui origine viene fatta coincidere col famoso dipinto *Les Femmes d'Alger (O. J. R. M.)*, che Pablo Picasso realizzò nel 1907. In esso, è del tutto evidente una delle tante novità, introdotte da questa nuova corrente artistica, ovvero la perdita dell'unicità del punto di vista, che era stato, fino ad allora, uno dei canoni fondamentali della pittura. Le cinque giovani prostitute del bordello, localizzato nella Calle d'Avignon a Barcellona, si mostrano allo spettatore, infatti, da punti di vista totalmente diversi e per una di loro la sperimentazione attuata da Picasso si spinge all'estremo, nel mostrarne il volto sopra il corpo visto di schiena. Le giovani, infine, risultano unite solo nel quadro, in quanto ognuna di loro proviene da una realtà diversa, uno spazio-tempo diverso. È difficile non cogliere, in questa rappresentazione, l'effetto sconvolgente della teoria di Einstein, formulata appena due anni prima, che ha mutato radicalmente il modo di concepire lo spazio e il tempo, rendendoli, da quantità assolute e tra loro distinte, un *unicum*, soggetto alle bizzarrie, connesse al moto dei diversi sistemi di riferimento.

Non esiste più una realtà oggettiva: ciò che si vede dipende unicamente dal punto di vista di chi osserva ed è straordinario come Picasso sia riuscito a dare una mirabile forma artistica a questo sconvolgente cambiamento della fisica, perché il messaggio, che si legge nel quadro, è che non ha più senso che il pittore si ingegni a rappresentare la realtà nel modo più vero possibile, dal momento che nulla è reale e nulla è vero.

Nel breve spazio di pochi anni, il Cubismo avrebbe attraversato delle fasi espressive diverse, in cui alcuni temi sarebbero stati maggiormente accentuati di altri, ma, in generale, le opere degli artisti, che avrebbero deciso di aderire a questa corrente, sarebbero state caratterizzate dallo smantellamento totale di ogni genere di forma, umana o paesaggistica, e nella successiva ricostruzione, che avrebbero attuato, con modalità tra loro anche molto diverse, per produrre un risultato, che dell'originale non avrebbe avuto quasi più niente. Nulla di più diverso da quello che per secoli era stato il canone tradizionale della pittura, ossia la rappresentazione più o meno veritiera del mondo esterno. La realtà oggettiva non esisteva più e aveva lasciato il posto a un'immagine incomprensibile, quella rappresentata, per l'appunto, dai pittori cubisti.

In alcuni casi, uno o più dettagli sarebbero stati ripetuti *ad libitum*, producendo un effetto tra l'onirico e l'ossessivo. Temi, questi ultimi, che sarebbero stati ripresi da un grande movimento artistico-culturale, il Surrealismo, di cui anche lo stesso Pirandello si sarebbe fatto portavoce, nel 1921, mettendo in scena un'opera, *Sei personaggi in cerca d'autore*, dominata in larga parte dall'assurdo e dall'inspiegabile. Nel caso particolare, sarebbe stata la differenza tra i personaggi creati dall'artista e le persone, quali gli attori, chiamate a interpretarli, a perdere di significato e la realtà degli uni sarebbe divenuta, nell'arco di tempo dedicato alla rappresentazione teatrale, anche quella degli altri.

Il Surrealismo proporrà una serie di temi diversi e la sua innovazione fondamentale sarà nella presa di coscienza che un evento non si può più narrare secondo una progressione lineare, ovvero una serie di cause e conseguenze, che segue uno schema logico. Ci saranno infatti situazioni, come quelle raccontate nell'opera monumentale *Alla ricerca del tempo perduto*, che Marcel Proust scriverà tra il 1909 e il 1922, in cui un evento non si conclude mai, ma ritorna, volta dopo volta, osservato da un'angolazione diversa e moltiplicato, provocando un effetto di simultaneità,

tipico dei sogni. In alcuni casi, invece, saranno i dettagli e i particolari ininfluenti a venire a galla, unendosi, come avverrà nell'*Ulysses* che James Joyce scriverà nel 1922, in catene di immagini (il cosiddetto "flusso di coscienza"), che conterranno innumerevoli situazioni possibili, appena accennate e non sviluppate, ma aperte in tutte le direzioni del tempo.

Nulla, insomma, sarà più come prima e nemmeno la musica potrà rimanere esente da questo stravolgimento generale. Alla ricerca dell'armonia verrà pian piano sostituita la tendenza verso la dissonanza, di cui sarà possibile cogliere già i primi germi nelle composizioni musicali di fine Ottocento di alcuni artisti, quali l'ungherese Franz Liszt e i tedeschi Richard Wagner e Johannes Brahms, e che sarà ripresa successivamente dai musicisti francesi Claude Debussy e Maurice Ravel e dal russo Igor' Stravinskij. Le loro sperimentazioni segneranno l'inizio della crisi del sistema tonale, ovvero del sistema di composizione, fondato su un rapporto di gerarchia tra una nota, la tonica, e le altre sei appartenenti alla "scala musicale diatonica", quella che per il Do Maggiore si produce, suonando in sequenza i sette tasti bianchi del pianoforte.

La musica tonale (che affonda le proprie radici negli studi dei suoni, prodotti da corde aventi precisi rapporti di lunghezza, effettuati da Pitagora) si basa su un insieme di relazioni tra la nota dominante (la tonica) e la sequenza di tutte le altre note, che hanno l'unico scopo di ottenere una melodia armonica in ogni sua parte. Tali relazioni, oltre a perdere la loro funzione, si mostreranno del tutto inadeguate per una costruzione musicale, volta a cercare le dissonanze. Così, nel 1920, il compositore austriaco Arnold Schönberg deciderà di dare una struttura di riferimento per un nuovo genere di musica, il cosiddetto dodecafonico, che istituirà basandosi su insiemi di serie di note appartenenti a quella che, in termini tecnici, è chiamata la "scala cromatica", ovvero la sequenza dei 12 semitoni, tutti equispaziati tra loro e rappresentati dall'insieme dei tasti bianchi e neri sul pianoforte. Nessuno dei 12 semitoni potrà prevalere sugli altri e così l'architettura musicale, ideata da Schönberg, sarà, a differenza di quanto accadeva in precedenza, del tutto priva di un centro tonale.

Può darsi che Schönberg non sapesse nulla di astronomia, ma la sua scelta di codificare un sistema di composizione musicale, privo di un centro, non può non riportarci alla mente tutti i passi compiuti, attraverso la storia, dall'astronomia, che progressivamente hanno tolto all'uomo ogni privilegio di centralità.

Per lungo tempo siamo stati convinti che la Terra fosse il centro dell'Universo, poi abbiamo perso il centro, che si è spostato sul Sole, ma siamo comunque rimasti prossimi a esso e ci siamo rassicurati all'idea che la nostra stella fosse il centro di un Universo che ritenevamo dovesse limitarsi alla nostra galassia. All'improvviso, però, agli inizi del secolo passato, abbiamo dovuto rassegnarci all'idea di essere piccoli, insignificanti e abbandonati.

Le 12 note di Schönberg, tutte ugualmente importanti, che permettono la costruzione di una musica che non vuole più essere armonica, rimandano alle nostre menti il ricordo dei grandi pensatori del passato, quali Pitagora, Platone e Aristotele, e del più moderno Keplero, che inseguivano la speranza di poter attribuire al Cosmo un'armonia, non soltanto geometrica, ma anche musicale, qualcosa di paragonabile a quella "musica delle sfere" con cui Dante accompagna nel suo *Paradiso* l'ascesa dei beati verso il Cielo.

Nulla di più lontano dal vero, il Cielo non esiste e il Cosmo è teatro di fenomeni violenti che non hanno nulla di armonico e che comunque non producono alcun genere di musica perché le onde sonore, a differenza di quelle elettromagnetiche, non possono propagarsi nel vuoto. La serenità e la pace che cogliamo nel cielo notturno è solo apparente, poiché anche le stelle, analogamente agli uomini, nascono e muoiono. Lo stesso destino attende, del resto, l'intero Universo, le cui dimensioni sono talmente grandi da risultare persino incomprensibili per noi, che, al suo confronto, siamo davvero "infinitamente piccoli".

Note

1. «E in modo simile sostengono che le creature si muovano a testa in giù, ma che non possano cadere dalla Terra nello spazio, come i nostri corpi non possono volare nei templi del Cielo».

2. Il titolo completo è *Astronomia Nova aitiologetos, seu Physica coelestis, tradita commentariis de motibus stellae Martis ex observationibus G.V. Tychonis Brahe*, traducibile in *Astronomia Nuova basata sulle sue cause, ovvero fisica celeste trattata con i commentari sul moto del pianeta Marte dalle osservazioni di Tycho Brahe*.

3. Il 4 gennaio del 1643, secondo il calendario gregoriano, oppure il 25 dicembre del 1642, secondo il calendario giuliano, ancora vigente, all'epoca, in Inghilterra.

4. A seguito della ridefinizione delle caratteristiche distintive dei corpi del Sistema Solare, operata dall'IAU (*International Astronomical Union*) il 24 agosto del 2006, Cerere è stato classificato come un "pianeta nano" (categoria in cui è stato contestualmente declassato Plutone).

5. Due stelle gravitazionalmente legate orbitano attorno a un punto "fittizio", detto "centro di massa".

6. Se la distanza tra due stelle lungo il piano del cielo è pari a D e la loro separazione angolare è inferiore a 1° , esprimendo quest'ultima in radianti, Θ , vale la relazione $D/d = \Theta$, dove d è la distanza tra l'osservatore e il sistema delle due stelle. Da tale relazione si ottiene $d = D/\Theta$.

$$7. d = \frac{206265}{p} UA$$

8. $f = \frac{L}{4\pi d^2}$ dove L è la luminosità intrinseca, f è quella osservata (tecnicamente detta flusso) e d è la distanza della sorgente luminosa.

9. Il diametro reale D , il diametro apparente Θ (espresso in radianti) e la distanza d sono legati dalla relazione riportata nella nota 6.

10. A seguito di una consultazione elettorale, conclusasi il 26 ottobre del 2018, i membri dell'IAU hanno stabilito di mutarne il nome in "Legge di Hubble-Lemaître", per riconoscere il contributo di Georges Lemaître, che nel 1927 aveva ipotizzato l'esistenza di una tale relazione.

11. Gamow volle inserire anche l'eminente fisico tedesco, nonché suo caro amico, Hans Bethe, tra gli autori dell'articolo affinché la sequenza dei cognomi (Alpher, Bethe, Gamow) "ricordasse" i tre tipi fondamentali di radiazioni ionizzanti: α , β e γ .

12. I precursori delle Novae e delle *Supernovae* (di tipo *Ia*) sono stelle molto compatte che si trovano in un sistema binario e, per effetto della gravità, sottraggono il gas alla loro compagna. Se il gas, accumulatosi sulla superficie della stella, raggiunge la temperatura sufficiente a innescare la fusione nucleare, si origina la *Nova*. Se il gas, che cade, è talmente tanto che la stella non riesce a sopportarne il peso, dopo essere collassata, esplose come *Supernova*.

GLOSSARIO

Centro di massa o baricentro - È un punto geometrico localizzato nella posizione che corrisponde al valore medio della distribuzione di massa di un sistema. Se quest'ultimo è costituito da due stelle di uguale massa, il punto è posizionato esattamente a metà della distanza tra le due stelle; se la massa delle stelle è diversa, il punto è tanto più prossimo alla stella di massa maggiore, quanto più la massa di quest'ultima domina sulla massa dell'altra stella.

Coniche - Le figure geometriche, ellisse, circonferenza, parabola e iperbole, che risultano dall'intersezione di un piano, avente diverse inclinazioni, con un cono.

Fotosfera - È la regione "visibile" di una stella. La parola (che deriva dal greco *phótos*, "luce", e *spháira*, "globo") significa, infatti, "sfera di luce".

Fuochi dell'ellisse - Sono i due punti fissi, localizzati lungo l'asse maggiore dell'ellisse, che ne permettono la definizione. L'ellisse è, infatti, il luogo geometrico dei punti (del piano) per i quali è costante la somma delle distanze dai due fuochi.

Gradi Kelvin - Si tratta di una scala per le temperature che fu suggerita a metà dell'Ottocento dal fisico britannico William Thomson, noto ai più come Lord Kelvin (titolo nobiliare di cui venne insignito per i suoi meriti scientifici). Lord Kelvin desiderava che lo zero della scala delle temperature non corrispondesse al "punto triplo" dell'acqua (come accade per la scala Celsius), ma avesse un significato intimamente connesso con la termodinamica. Lo zero della scala Kelvin, detto anche "zero assoluto", rappresenta infatti il limite di temperatura minima raggiungibile da un corpo e corrisponde a $-273,15$ °C (gradi Celsius).

Keplero, prima legge - *Le orbite descritte intorno al Sole dai pianeti sono ellissi di cui il Sole occupa uno dei fuochi.*

Keplero, seconda legge - *Il raggio vettore che congiunge il pianeta al Sole descrive entro l'ellisse aree uguali in tempi uguali.*

Keplero, terza legge - *Il quadrato del periodo di rivoluzione di un pianeta attorno al Sole è proporzionale al cubo della sua distanza media dal Sole.*

Kiloparsec - È un multiplo del parsec (pc). Un kiloparsec (kpc) corrisponde a 1.000 pc.

Indice di rifrazione (n) - È definito come $n = c / v$ (dove c e v sono rispettivamente la velocità della luce nel vuoto e nel vetro). La v non è la stessa per i diversi “colori” che costituiscono la luce bianca e, di conseguenza, il valore di n , oltre a dipendere dal tipo di vetro, varia anche in funzione del colore.

L2 - È uno dei cinque punti di Lagrange, così detti perché fu proprio il grande matematico Joseph-Louis de Lagrange (italiano di nascita, ma francese di adozione) a calcolarne, nel 1772, la posizione. Nei punti di Lagrange, un corpo di massa trascurabile (quale è un satellite) rimane in una posizione stabile, in relazione all'effetto della forza di attrazione combinata di due corpi di massa molto maggiore (quali sono il Sole e la Terra).

Lunghezza focale o distanza focale - In un telescopio è la distanza tra l'obiettivo (nel caso di un rifrattore) o lo specchio (nel caso di un riflettore) e il punto (il fuoco) in cui converge la luce.

Megaparsec - È un multiplo del parsec (pc). Un Megaparsec (Mpc) corrisponde a un milione di pc.

Piede - Unità di misura di lunghezza adottata dagli inglesi (e nei paesi di cultura anglosassone) che non seguono il sistema metrico decimale. Il piede, *foot*, che viene utilizzato per indicare le lunghezze focali dei telescopi, corrisponde a 30,1 cm.

Pollice - Il pollice, *inch*, utilizzato dagli inglesi (e nei paesi di cultura anglosassone) per indicare i diametri degli specchi dei loro telescopi, corrisponde a 2,51 cm.

Prisma - Uno dei possibili elementi “disperdenti” dello spettroscopio (l'altro è il reticolo). Per effetto della sua forma, il prisma riesce a produrre una grande rifrazione dei diversi “colori”, che costituiscono la luce bianca.

Quadrante - È uno strumento che viene utilizzato per misurare l'altezza di un astro sull'orizzonte, che è sempre compresa tra 0° (astro all'orizzonte) e 90° (astro allo zenit). Per questa ragione, il quadrante è costituito da un quarto di cerchio (da cui l'origine del suo nome) provvisto di un cannocchiale che può scorrere lungo una scala graduata.

Quadrante murale - È un quadrante montato su un muro orientato in direzione nord-sud e viene utilizzato per misurare l'altezza dei corpi celesti, nel momento della loro culminazione in cielo.

Zenit - Il termine deriva dall'arabo *samt al-ra's*, che significa “direzione della testa”. Per questo motivo lo zenit corrisponde a una altezza sull'orizzonte di 90°.

BIBLIOGRAFIA

- Agostino (1988) *La città di Dio*, a cura di A. Trapè, Roma: Città Nuova Editrice. Testo disponibile a: <https://www.augustinus.it/italiano/cdd/index2.htm> (accesso effettuato il 21 gennaio 2019).
- Alighieri, D. (1966-1967) *La Commedia secondo l'antica vulgata*, a cura di G. Petrocchi, Firenze: Le Lettere. Testo disponibile a: <https://divinacommedia.weebly.com/> (accesso effettuato il 19 febbraio 2019).
- Alpher, R.A., Bethe, H., Gamow, G. (1948) The origin of chemical elements, *Physical Review*, 73: 803-804.
- Alpher, R., Herman, R. (1948) Remarks on the Evolution of the Expanding Universe, *Physical Review*, 75: 1089-1095.
- Baade, W. (1944) The resolution of Messier 32, NGC 205 and the Central Region of the Andromeda Nebula, *Astrophysical Journal*, 100: 137-146.
- Baade, W., Zwicky, F. (1934) On Super-Novae, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 20: 254-259.
- Baade, W., Zwicky, F. (1934) Remarks on Super-Novae and cosmic rays, *Physical Review*, 46: 76-77.
- Bailey, S.I. (1922) Henrietta Swan Leavitt, *Popular Astronomy*, 30: 197-199.
- Bertin, A. (1973) *Copernico*, Milano: Edizioni Accademia.
- Bessel, F.W. (1838) On the parallax of 61 Cygni A, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 4: 152-161.
- Bethe, H.A. (1939) Energy Production in Stars, *Physical Review*, 55: 434-456.
- Burbidge, E.M., Burbidge, G.R., Fowler, W.A., Hoyle, F. (1957) Synthesis of the Elements in Stars, *Review of Modern Physics*, 29: 547-654.
- Clerke, A.M. (1890) *The System of the Stars*, London: Longmans, Green & Co.
- Crowe, M.J. (1990) *Theories of the World from Antiquities to the Copernican Revolution*, New York: Dover Publications.
- Crowe, M.J. (1994) *Modern Theories of the Universe from Herschel to Hubble*, New York: Dover Publications.
- De Micheli, M. (2014) *Le avanguardie artistiche del Novecento*, Milano: Feltrinelli.
- Diels, H. (1961) *I Dossografi greci*, trad. it. a cura di L. Torraca, Padova: CEDAM.
- Dreyer, J.L.E. (1888) A New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars, being the Catalogue of the late Sir John F W Herschel, Bart., revised, corrected and enlarged, *Memories of the Royal Astronomical Society*, 49: 1-237.

- Esiodo (2016) *Le opere e i giorni*, a cura di M. Bavosi, trad. E. Romagnoli (1929), Rimini: Raffaelli Editore.
- Galilei, G. (1895) *Le opere*, vol. V, Firenze: Tipografia di G. Barbera.
- Galilei, G. (1965) *Le opere*, vol. X, *Carteggi: 1574-1610* (nuova ristampa dell'edizione nazionale), Firenze: Tipografia di G. Barbera.
- Galilei, G. (1993) *Sidereus Nuncius*, a cura di A. Battistini, trad. Maria Timpano Cardini, Venezia: Marsilio.
- Gamow, G. (1948) The evolution of the universe, *Nature*, 162: 680-682.
- Gamow, G. (1948) The Origin of Elements and the Separation of Galaxies, *Physical Review*, 74: 505-506.
- Gamow, G. (1952) *The creation of the universe*, New York: Dover Publications.
- Haimo, E. (1990) *Schönberg's Serial Odyssey: The Evolution of his Twelve-Tone Method, 1914-1928*, Oxford: Oxford University Press.
- Hearnshaw, J.B. (1986) *The Analysis of Starlight: One Hundred and Fifty Years of Astronomical Spectroscopy*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Health, T.L. (1961) *Greek Astronomy*, New York: Dover Publications.
- Herschel, W. (1781) Account of a Comet, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 71: 492-501.
- Herschel, W. (1785) On the construction of the heavens, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 75: 213-266.
- Herztsprung, E. (1913) Über die räumliche Verteilung der Veränderlichen vom δ Cephei-Typus, *Astronomische Nachrichten*, 196: 201-210.
- Hodson, F.R. (1974) *The Place of Astronomy in the Ancient World*, Oxford: Oxford University Press.
- Hopkins, M.M. (1916) The parallax of 61 Cygni A, *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 10: 498-504.
- Hoskin, M. (2001) *Storia dell'Astronomia di Cambridge*, Milano: Rizzoli Editore.
- Hubble, E. (1929) A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 15: 168-173.
- Kirchhoff, G., Bunsen, R. (1860) Über die Fraunhoferschen Linien, *Annalen der Physik*, 110: 161-189.
- Leavitt, H. (1908) 1777 Variables in the Magellanic Clouds, *Annals of the Astronomical Observatory of Harvard College*, LX(IV): 87-108.
- Lemaître, G. (1927) Un univers homogène de masse constant et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactique, *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles*, 47: 49-59.
- Lucrezio Caro, T. (2013) *De Rerum Natura*, a cura di A. Fellin, Novara: UTET.

- Mittag-Leffler, G. (1925) *Letter to Leavitt*, Harvard Library Archives UAV 630.22, Box 9.
- Omero (1872) *Iliade*, vol. II, trad. V. Monti, Milano: Società tipografica dei classici italiani.
- Osterbrock, D. (1995) Walter Baade's Discovery of the Two Stellar Populations. In *Proceedings of the 164th Symposium of the International Astronomical Union*, Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, pp. 21-30.
- Penzias, A.A., Wilson, R.W. (1965) A measurement of excess Antenna Temperature at 4800 Mc/s, *Astrophysical Journal*, 142: 419-421.
- Pickering, E.C. (1912) Periods of 25 Variable stars in the Small Magellanic cloud, *Harvard College Observatory Circular*, 173: 1-3.
- Pickering, E.C. (1912) The Objective Prism, *Proceedings of the American Philosophical Society*, 51(207): 564-565.
- Pirandello, L. (1958) *Le opere*, Milano: Mondadori.
- Ruggles, C.I.N. (1999) *Astronomy in Prehistoric Britain and Ireland*, New Haven: Yale University Press.
- Russo, L. (1997) *La rivoluzione dimenticata. Il pensiero greco e la scienza moderna*, Milano: Feltrinelli.
- Slipher, V.M. (1913) The radial velocity of the Andromeda Nebula, *Lowell Observatory Bulletin*, 1: 56-57.
- Slipher, V.M. (1917) Nebulae, *Proceedings of the American Philosophical Society*, 56: 403-409.
- Stephenson, B. (1994) *The Music of the Heavens: Kepler's Harmonic Astronomy*, Princeton: Princeton University Press.
- Walker, C. (1996) *Astronomy before the Telescope*, London: British Museum Press.
- Zhevakin, S.A. (1953) On the theory of Cepheids I, *Astronomicheskii Zhurnal*, 30: 161-179.
- Zhevakin, S.A. (1963) Physical bases of the pulsation theory of variable stars, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 1: 367-400.



Fin dai tempi più antichi gli uomini hanno scrutato il cielo e le stelle, cogliendo nella regolarità degli apparenti moti celesti il palesarsi di un ordine superiore, da cui trarre segni che potessero dare un senso al loro presente e indicare il corso delle azioni future. Da sempre l'indagine del cielo determina la percezione che l'uomo ha della propria collocazione nell'assetto del cosmo.

Percorrendo la storia di questo insistente scrutare – dalle prime rappresentazioni mitico-religiose alla nascita dell'astronomia scientifica e alle osservazioni strumentali – il volume rivela il progressivo incrinarsi dell'illusione umana di trovarsi al centro del creato e la graduale scoperta di un universo sempre più grande, che appare indifferente a noi e alla nostra sorte.

ISBN 978-88-6923-474-3



9 788869 234743

€ 19,00

www.1088press.it