

STORIA DELL'ASTRONOMIA

di

Davide Mauro

Una pubblicazione:

C.O.D.A.S.

Centro Osservazione e Divulgazione Astronomica

Siracusa

I PRIMORDI DELL'ASTRONOMIA

Le origini

Sin dagli albori della civiltà l'uomo ha sentito l'esigenza di conoscere il mondo circostante e di comprendere i processi che lo regolano; la conoscenza dei moti del sole, della luna, e dei pianeti ha destato un certo interesse sia per primitive convinzioni astrologiche, sia per scoprire un metodo preciso per determinare il calendario e scandire il tempo, nonché prevedere eventi astronomici quali eclissi ed equinozi.

Secondo alcuni studiosi la costellazione dell'*Orsa Maggiore* era già nota agli uomini di 40-50.000 anni fa: lo dimostra l'esistenza di un culto legato ad essa. Le costruzioni megalitiche come il famosissimo monumento di *Stonehenge*, o i dolmen francesi, oltre a svariate costruzioni sparse in tutto il mondo, presentano precisi allineamenti con astri o con i cicli stagionali del sole, a riprova del grande interesse verso il cielo, ma anche di misteriose conoscenze astronomiche a volte davvero stupefacenti.

I Cinesi

L'antica astronomia cinese è famosa in tutto il mondo soprattutto per la grande tradizione documentativa delle osservazioni astronomiche sin dal 2000 a.C: esiste infatti la registrazione di una eclissi di sole risalente al 1217 a.C.

Questo popolo osservò e documentò acriticamente (senza incorrere nei pregiudizi che hanno caratterizzato l'approccio degli europei al cielo) anche ad altri fenomeni, come passaggi di comete o persino l'esplosione della *supernova del Granchio* del 1054; crearono anche un calendario lunisolare composto da 360 giorni a cui venivano aggiunti 5 giorni *epagomeni*¹, anche se poi esso non riuscirà mai ad essere preciso come il calendario di altre civiltà antiche.

Maya, Inca, Aztechi

Anche nel centro america si svilupparono delle civiltà che raggiunsero una cultura e un grado di conoscenze assai elevato. La loro sviluppatissima astronomia non diede purtroppo dei contributi alle altre civiltà, rimanendo confinata nell'isolamento sino ai tempi della scoperta dell'America. Anch'essi sono famosi per la costruzione di templi e piramidi dedicati agli dei del cielo. Il loro culto era legato a Venere, identificato con la divinità nota come "*serpente piumato*"; proprio sui moti di questo pianeta svilupparono un preciso calendario astronomico, scoprendo in particolar modo che ogni 8 anni il pianeta compie 5 rivoluzioni sinodiche (di 584 giorni): sorprende

¹ **Giorni epagomeni:** giorni che si intercalano in determinati anni su alcuni calendari.

infatti la precisione degli almanacchi astronomici improntati sul ciclo di Venere con l'esiguo errore di un giorno in 6.000 anni! Il calendario in particolare, era formato da 18 mesi di 20 giorni con 5 giorni addizionali.

E' risaputo come questi popoli riuscissero a prevedere il periodo in cui si aveva maggior probabilità d'avere delle eclissi, assai temute dagli antichi, prevedendo anche il ciclo delle stagioni, i *solstizi*² e gli *equinozi*³. I templi, perfettamente allineati con la levata del sole in determinati giorni dell'anno, sono un ottimo esempio di allineamento astronomico.

Il complesso di edifici di *Uaxactun* nel Guatemala, presenta una piattaforma in cima ad una delle piramidi dove è possibile osservare la levata del sole agli equinozi e ai solstizi osservando il moto dell'astro levarsi dietro lo spigolo di altri tre edifici perfettamente allineati in base alla posizione del sole.

Gli Assiri e i Babilonesi

I primi segnali di una civiltà assiro-babilonese ben sviluppata si hanno attorno al 2700 a.C. Questo popolo dimostrò subito di possedere eccezionali conoscenze astronomiche, dando successivamente dei contributi anche agli egiziani ai popoli indiani. La necessità di perfezionare le conoscenze in campo astronomico non proveniva solo dalla necessità di avere un buon calendario su cui fare riferimento, ma soprattutto per convinzioni astrologiche; in tal senso erano gli stessi sovrani a richiedere precise previsioni astrologiche agli astronomi di corte. Fu quindi la necessità di dover prevedere la posizione della luna e dei pianeti, di capire il meccanismo delle eclissi di sole e di luna, ritenuti eventi infausti, a far perfezionare le conoscenze e le ricerche astrologiche.

Questi popoli pur non avendo a disposizione strumenti di precisione, intuirono il moto apparente dei pianeti basandosi sulla posizione di alcune stelle di riferimento nel cielo. Scoprirono quindi i *periodi sinodici*⁴ dei pianeti Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno con un semplice errore di alcuni giorni, riportando le previsioni su *tavolette effemeridi* dalle quali si poteva sapere in ogni momento quando un pianeta era stazionario in cielo o in opposizione.

² **Solstizio:** ciascuno dei due punti dell'eclittica situati alla massima distanza dall'equatore celeste. Il Sole raggiunge il solstizio d'estate, trovandosi alla sua massima declinazione, intorno al 21 di giugno di ogni anno e a questa data si fa corrispondere l'inizio della stagione estiva per l'emisfero boreale (le stagioni sono ovviamente invertite nell'emisfero australe). Il punto opposto, detto solstizio d'inverno, cade invece intorno al 21 dicembre. Il termine solstizio esprime il fatto che in quei giorni il Sole sembra apparentemente fermo sull'eclittica, non modificando la propria declinazione tra un giorno e il successivo.

³ **Equinozio:** ciascuno dei due punti in cui l'eclittica interseca l'equatore celeste, prendono il nome di equinozio di primavera (o punto gamma o punto di Ariete) e di equinozio d'autunno (o punto omega o punto della Bilancia). Il Sole si trova all'equinozio il 21 marzo e il 23 settembre di ogni anno, giorni che segnano l'inizio della primavera e dell'autunno nell'emisfero boreale. All'equinozio, a qualunque latitudine ci si trovi, il Sole sorge esattamente in direzione est e tramonta esattamente in direzione ovest, impiegando 12 ore per compiere il suo cammino.

⁴ **Periodo sinodico:** l'intervallo di tempo necessario perché il pianeta assuma nuovamente la stessa posizione rispetto alla Terra, come ad esempio tra due congiunzioni o due opposizioni.

Del moto lunare, si accorsero che le fasi avevano tempi ben definiti, intuendo come il Sole la Terra e la Luna si ritrovino periodicamente nella medesima posizione: questa scoperta si riferisce al *ciclo di Saros*, ossia dopo 223 lunazioni (18,10 anni) la luna ricomincia un ciclo in cui le eclissi si ripetono uguali.

Essendo assai abili anche nei calcoli matematici (introdussero l'algebra), determinarono la *durata del mese sinodico lunare*⁵ con errori di 30 secondi d'arco in 5000 lunazioni! La loro abilità nello studio del cielo li portò ad identificare la *fascia dello zodiaco* e l'*eclittica*⁶ da essi chiamata "*via del Sole*" in cui trovare i pianeti. Questa fascia poi venne divisa in 360 parti, una per ogni giorno dell'anno, determinando così da loro l'uso del sistema sessagesimale per il calcolo dei gradi. Ebbero poi la giusta intuizione nel raggruppare le stelle in costellazioni dando anche dei nomi.

Furono i primi a dividere il giorno in 24 ore, anche se per loro il giorno cominciava la sera, mentre il mese cominciava all'emergere della luna dalle luci del tramonto subito dopo il novilunio. Fissarono quindi un calendario di 12 mesi lunari di 29 e 30 giorni alternati in maniera non regolare, dividendo i giorni in settimane. Il primo giorno dell'anno però cominciava con il plenilunio di primavera. Per correggere il calendario anch'essi ebbero bisogno d'intercalare mesi aggiuntivi per far tornare i conti, ottenendo comunque una misura precisa nel tempo.

Gli Egiziani

Le conoscenze astronomiche degli egiziani, a parte la loro fama nella costruzione delle piramidi e di altri monumenti allineati con le stelle, presenta come punto di forza il calendario. La loro vita era fortemente legata a quella del fiume Nilo e delle sue periodiche alluvioni. Questi eventi avvenivano con una certa costanza, in genere ogni 11 o 13 lunazioni, ma ci si accorse anche che l'inizio delle inondazioni avveniva quando s'alzava nel cielo la stella *Sirio* (Sopdet per gli egizi) con un errore di 3-4 giorni al massimo. Con questo riferimento sorsero diversi calendari, il primo era il *calendario lunare* di 354 giorni con mesi di 29 o 30 giorni. Ma nel tempo si notarono errori di calcolo, così ne fu introdotto un secondo definito *calendario civile* di 365 giorni con 30 giorni ogni mese e 5 epagomeni ogni anno. Ma anche questo calendario mostrava qualche differenza con la realtà. Così fu introdotto un ultimo calendario ancora più preciso che possedeva un *ciclo di 25 anni*

⁵ **Mese sinodico:** dalla parola greca *synodos*, riunione. Il mese sinodico è l'intervallo di tempo affinché la Luna ritorni sulla stessa posizione rispetto la Terra. Esso è più lungo di circa 2 giorni rispetto quello siderale e la sua durata complessiva è di 29,5 giorni. La differenza consiste nel tenere in considerazione lo spostamento orbitale della Terra rispetto al Sole.

⁶ **Eclittica:** la parola deriva dal termine eclissi, in quanto è la linea su cui si hanno in genere le eclissi. Tale linea rappresenta il percorso che il sole descrive durante l'anno e che interseca il cerchio dell'equatore celeste in due punti detti, l'uno punto gamma o d'Ariete e l'altro della Bilancia. Essa risulta inclinata rispetto l'equatore di 23° 27', tale angolo rappresenta l'obliquità dell'eclittica.

in cui veniva aggiunto un mese intercalare nel 1°, 3°, 6°, 9°, 12°, 14°, 17°, 20°, e 23° anno di ogni ciclo. Questo calendario così preciso fu anche usato da Tolomeo nel II sec. d.C. e preso come riferimento sino ai tempi di Copernico. Da ricordare che i mesi di 30 giorni erano divisi in *settimane da 10 giorni* e in 3 stagioni di 4 mesi detti: *mesi dell'inondazione, mesi della germinazione, mesi del raccolto*. Già dal 3000 a.C. gli egiziani avevano in uso la divisione delle ore diurne e notturne in dodici parti ciascuna: per le ore diurne usavano regolare il tempo con le meridiane, mentre per le ore notturne si servivano di un orologio stellare, ovvero l'osservazione delle posizioni di 24 stelle brillanti. Le ore così misurate sia di giorno che di notte avevano una durata diversa a seconda della stagione, ma tuttavia valevano in media 60 minuti. Successivamente per le ore notturne vennero introdotti i “*decani*”, ovvero 36 stelle poste in una fascia a sud dell'eclittica, ognuna delle quali indicava con maggior precisione l'orario.

L'ASTRONOMIA GRECA

I primi astronomi Greci

L'uomo a cui si devono le prime indagini conoscitive sul mondo e sull'astronomia è **Talete di Mileto** (624-546 a.C.). Egli stimò con buona approssimazione che i *diametri apparenti del Sole e della Luna sono la 720^a parte del circolo percorso dal sole*; gli è stata attribuita anche la divisione dell'anno in quattro stagioni e 365 giorni, nonché la previsione di solstizi ed equinozi, e di un'eclisse di Sole. Egli supponeva che la Terra galleggiasse sulle acque dell'oceano come una barca, e che le sue oscillazioni causassero terremoti.

Anassimandro (610-546 a.C.) discepolo di Talete diede un grande contributo all'astronomia. Fonti indirette dicono che fu l'inventore dello *gnomone*⁷ per rivelare l'altezza del sole e della luna e quindi l'inclinazione dell'eclittica. Egli riteneva il mondo un cilindro posto al centro dell'universo con i corpi celesti che vi ruotano, supponendo l'esistenza di mondi infiniti in tutte le direzioni, avendo così la prima intuizione del principio cosmologico.

Pitagora (ca 570-496 a.C.) fu il fondatore di una celebre scuola a Crotona, una scuola che divenne ben presto a carattere settario, con idee e dottrine legate alla matematica. Ma ciò che sorprende di queste idee è la loro modernità: a parte i grandi contributi alla matematica e alla geometria come il famoso teorema, vi sono anche dei contributi all'astronomia; intuì che *Vespero e Lucifero fossero lo stesso corpo*, ossia il pianeta Venere che si osserva al tramonto o all'alba, in base alla sua posizione orbitale.

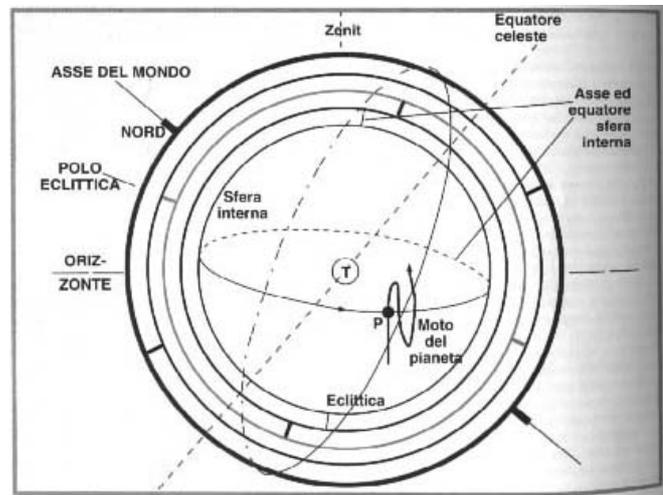
⁷ **Gnomone**: l'asta delle meridiane su cui il sole proietta l'ombra e da cui si ricava l'ora del giorno o l'altezza del Sole.

Ma un contributo maggiore lo diede **Filolao** della stessa scuola, il quale sosteneva un *modello di sistema solare non geocentrico*; al centro dell'universo vi era un grande fuoco ove vi ruotavano la Terra, l'Antiterra, la Luna, il Sole, Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno. L'esistenza dell'antiterra fu introdotta probabilmente per giustificare l'invisibilità del fuoco centrale che veniva occultato da quest'ultima, nonché dalla necessità filosofica di arrivare ad un numero totale di dieci corpi.

Platone (427-347 a.C.) il grande filosofo, ebbe dapprima una visione dell'universo eliocentrica, poi ritrattata in tarda età per il geocentrismo. Intuì tuttavia *la sfericità della terra*, sostenendo anche che la luna ricevesse luce dal sole.

Le sfere di Eudosso

Un'importante passo in avanti per l'astronomia avvenne con **Eudosso di Cnido** (ca 406-355 a.C.) di origini umili, seguì l'insegnamento di Platone e dei sofisti facendo anche un viaggio in Egitto ove studiò astronomia, portando in patria una più esatta conoscenza dell'anno Tropic. Ma la sua fama è legata soprattutto alle *sfere omocentriche*, ossia di un Universo diviso in sfere aventi un



Sfere omocentriche di Eudosso

unico centro di rotazione con al centro la terra, in ogni sfera vi era un pianeta con un moto circolare ed uniforme differente da quello degli altri; in questo modo diede spiegazione dei movimenti retrogradi e degli stazionamenti periodici dei pianeti: per le stelle fisse fu facile attribuire una sfera immobile, mentre per i pianeti e per la luna il moto veniva spiegato con una prima sfera che induceva un moto diurno, un'altra per il moto mensile ed infine una terza ed una quarta con diverso orientamento dell'asse per il moto retrogrado. Tenendo conto che il Sole ne possedeva tre, si giunge ad un sistema di ben 27 sfere. In tal modo seppur ignorando le variazioni di luminosità dei pianeti si provava a dare una prima spiegazione ai moti planetari.

Aristotele (384-323 a.C.) il più grande studioso dell'antichità, abbracciò un vasto campo di conoscenze, abbracciando molti aspetti del sapere: l'astronomia, la fisica, la meteorologia, la psicologia e la biologia. Tuttavia il suo autorevole contributo alle scienze astronomiche fu causa di uno stallo ideologico dell'evoluzione del pensiero scientifico di ben 2000 anni! Le sue idee infatti, essendo state acquisite dalla Chiesa acriticamente, divennero un dogma assoluto.

Aristotele attribuì una realtà fisica alle sfere di Eudosso alle quali ne aggiunse altre per sopperire alle evidenze osservative. Egli ipotizzò un complicato sistema di 55 sfere animate da un motore immobile dal quale partiva l'impulso al moto di tutte le sfere, di cui l'effetto d'attrito contribuiva a creare un moto differente per ogni sfera.

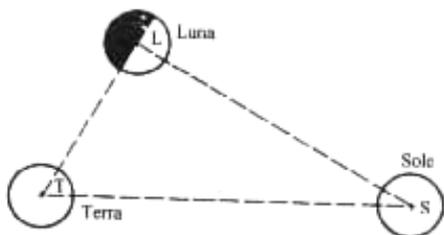
Aristotele inoltre, diede un contributo positivo suggerendo la *sfericità dei corpi celesti*, le fasi della luna infatti, venivano spiegate con l'esistenza di un corpo sferico; così anche la Terra risultava sferica poiché proiettava ombre circolari nelle eclissi di Luna, oltre al fatto che al variare della latitudine era ben percepibile una differente altezza delle stelle.

Il “Copernico dell'antichità”, Aristarco di Samo

Nell'uniformità di vedute cui un po' tutti gli scienziati credevano, vi era invece, uno scienziato definito successivamente il “*Copernico dell'antichità*” poiché fu il primo ad affermare, in anticipo sui tempi, l'ipotesi eliocentrica. **Aristarco di Samo** (310-230 a.C.) perfezionò la visione dell'universo di Eraclide Pontico il quale ammetteva la rotazione di Mercurio, Venere e Marte attorno al Sole, anche se poi la Terra era sempre al centro dell'universo mentre il Sole e gli altri pianeti vi ruotavano attorno. Aristarco invece, perfezionò la teoria spostando il Sole al centro dell'universo; il moto dei corpi quindi diveniva più semplice da spiegare anche se non ancora perfetto, data la mancata applicazione delle orbite ellittiche. Inoltre considerò il moto rotatorio della Terra su di un *asse inclinato* che spiegava le stagioni.

Per quanto le sue deduzioni risolvevano molti dubbi, altri scienziati dell'epoca gli contestavano la mancata variazione di parallasse delle stelle, che Aristarco ipotizzava troppo piccola e quindi non misurabile, viste le distanze in gioco. Altra contestazione (questa del tutto assurda) era legata alla rotazione della Terra, ipotizzata talmente rapida da potersi riscontrare lanciando semplicemente un sasso e facendolo ricadere.

Aristarco fu anche famoso per il metodo di misura della distanza Terra-Sole. Al primo quarto di Luna, quando risulta visibile anche il Sole, i due astri formano un angolo di 90° . Considerando l'ipotetico triangolo tra i tre corpi, Aristarco misurò quello della Terra con la Luna ed il Sole, trovando un valore di 87° . In questo modo con un semplice calcolo trigonometrico ottenne che la distanza Terra-Sole era 19 volte maggiore di quella tra la Terra e la Luna. Il valore in verità è di 400 volte, ma l'importanza di tale misura non consiste nella precisione riscontrata, quanto nel metodo usato e nell'intuizione.

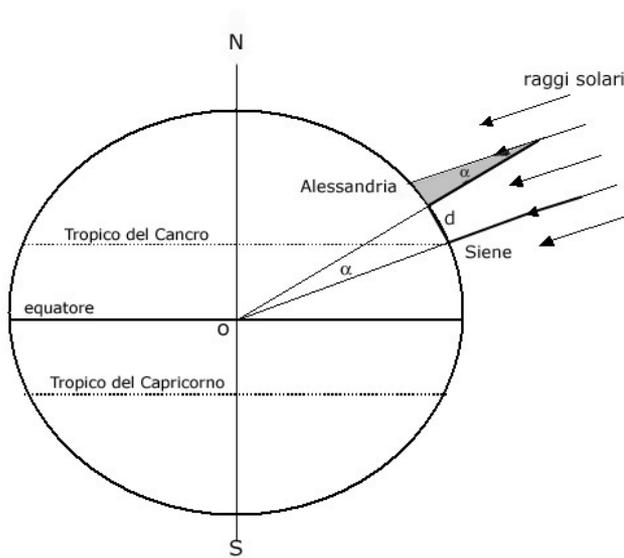


Metodo di Aristarco per la misura della distanza Terra-Sole

La prima misura del meridiano terrestre

Lo scienziato che per primo misurò la lunghezza del meridiano terrestre fu **Eratostene** da Cirene, in Egitto (276-195 a.C.). Egli fu un matematico e un geografo molto stimato da Archimede, col quale aveva corrispondenza e amicizia. Migliorò notevolmente le *carte geografiche* che risalivano ad Anassimandro e fu il primo a dividere la Terra in *meridiani e paralleli* e nelle 5 zone climatiche che oggi conosciamo: 2 polari, 2 temperate e una equatoriale.

Il metodo che adottò per misurare la lunghezza del meridiano terrestre ebbe come



riferimento due città: *Alessandria* e *Siene*, l'odierna Assuan. Partendo dall'ipotesi che fossero sullo stesso meridiano (in realtà sono separate da 3° di longitudine), misurò dapprima la distanza tra le due città, ponendo concettualmente i raggi solari paralleli tra loro: questa situazione è possibile in alcuni giorni dell'anno; il giorno del *solstizio d'estate* infatti a Siene il sole è allo zenit e i raggi risultano verticali,

Metodo di Eratostene

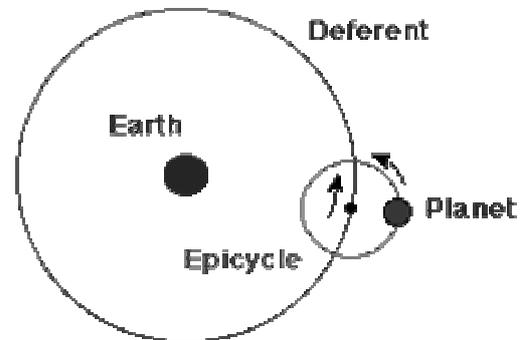
mentre ad Alessandria formano un certo angolo α : questo angolo corrisponde all'angolo posto ipoteticamente al centro della Terra tra le rette che congiungono le due città. Il suo valore era di 1/50 di giro (ancora i gradi sessagesimali non erano stati ufficialmente introdotti) che equivaleva a 250.000 stadi, quindi 39.400 Km contro i 40.000 reali.

Dopo questa prima misura però, Eratostene preferì compierne altre, attese il *solstizio d'inverno* e misurò ancora una volta con lo gnomone l'angolo dell'ombra fra le due città, la misura fu assai simile. Una terza misura forse fu eseguita tra Siene e Meroe a N-E di Khartoum *all'equinozio*, ottenendo un'altra misurazione. Il risultato di queste misure è da considerarsi eccezionale vista la precisione, ma soprattutto la forza inventiva del metodo.

Si dice anche che egli abbia ottenuto la misura della distanza Terra-Sole e Terra-Luna, forse utilizzando il metodo di Aristarco.

L'introduzione degli epicicli e dei deferenti e il contributo di Ipparco

Nel cercare di migliorare ulteriormente il modello di universo di Aristotele che ormai presentava delle evidenti lacune, **Apollonio di Perge** in Turchia (260-200 a.C.) introdusse il sistema degli *epicicli* e dei *deferenti*. I pianeti così avrebbero dovuto ruotare attorno alla Terra su di un'orbita circolare ad una velocità costante chiamata *deferente*, mentre il centro della stessa orbita avrebbe ruotato attorno ad un cerchio immateriale detto *epiciclo*; sicché per spiegare le persistenti differenze osservative dovette introdurre il *modello eccentrico*, con la Terra non perfettamente al centro del deferente; in tal modo la rotazione dei pianeti avveniva secondo un modello matematico molto vicino alla realtà, con moti retrogradi e persino variazioni di luminosità del pianeta. Riuscì anche a spiegare le elongazioni di Venere e Mercurio supponendo un sincronismo particolare col Sole e la Terra tali da consentire le prospettive elongazioni massime e minime dei pianeti rispetto al Sole.



L'ultimo grande astronomo osservativo d'età ellenistica fu **Ipparco** di Nicea (190-125 a.C.). Utilizzando vecchie osservazioni e *cataloghi stellari* primordiali, Ipparco ne creò uno nuovo con 850 stelle, assegnandovi per primo le coordinate ellittiche; nel compilare il catalogo inoltre, osservò nel 134 a.C. una *stella nova*⁸ nello Scorpione che contraddiceva l'immutabilità del cielo. Classificò quindi le stelle in una scala di sei grandezze che oggi conosciamo come *magnitudini stellari*⁹. Tramite questi elementi Ipparco poté notare che tra le sue osservazioni e quelle del passato v'era una certa differenza, questo fenomeno implicava lo spostamento del centro di rotazione del cielo, quindi la *precessione degli equinozi*¹⁰. Il suo studio fu così accurato che poté calcolare i valori di spostamento supposti in 45" d'arco all'anno (oggi accettato di 50"). Furono sempre i suoi studi a

⁸ **Nova:** è una stella che manifesta un improvviso aumento della luminosità, per poi indebolirsi lentamente, senza che questo processo alteri in modo permanente le sue caratteristiche fisiche.

⁹ **Magnitudine stellare:** scala di grandezze con cui è possibile misurare la luminosità delle stelle. La scala introdotta da Ipparco è maggiore per le magnitudini negative e minore per quelle positive. Le magnitudini inoltre si dividono in magnitudine apparente e assoluta, la prima non tiene conto delle distanze dei corpi celesti mentre la seconda è la magnitudine raggiunta dall'oggetto ad una distanza standard di 10 parsec, ossia 32,6 anni-luce.

¹⁰ **Precessione degli equinozi:** essendo la terra inclinata di 23,5° rispetto l'orbita, l'attrazione reciproca di sole e luna tende a raddrizzarne l'asse, il quale reagisce dinamicamente con un effetto giroscopico in cui l'asse ruota alla stessa inclinazione con un periodo di 25.700 anni. Per tale spostamento il punto gamma dell'eclittica si sposta anch'esso del medesimo periodo e quindi di 50" d'arco all'anno. In questo moto il punto gamma si muove verso il sole e l'equinozio di primavera precede ogni anno l'arrivo dell'astro, da qui il nome di precessione. L'effetto del moto però fa spostare sia l'equatore celeste che il polo. Quest'ultimo percorre apparentemente un cerchio nel cielo che non si chiude mai e che sposta la posizione della stella di riferimento.

introdurre grandi *contributi alla matematica* con le corde, gli archi e le funzioni di seno e coseno trigonometriche, infine divise il cerchio in 360° usando definitivamente il *sistema sessagesimale*. Stabilì con buona precisione la *differenza tra anno tropico*¹¹ e *sidereo*¹² calcolandone anche i tempi. Misurò anch'egli con il metodo di Aristarco ed Eratostene la *distanza Terra-Luna* e *Terra-Sole*. Introdusse poi degli strumenti utilissimi quali *l'astrolabio*¹³ e la *diootra*¹⁴ con la quale misurò le variazioni apportate dal disco solare e lunare. Fu infine un valente cartografo.

I Romani

In mezzo a tanta cultura ellenistica, i Romani non ebbero molto spazio nel portare avanti le scienze astronomiche; si può però ricordare il contributo alla creazione di un calendario da parte di **Giulio Cesare** (100-44 a.C.) che su suggerimento di **Sosigene** riformò il calendario inserendo gli anni bisestili che vennero poi applicati in tutto l'Impero. Si ricorda anche **Plutarco** (46-127 d.C.) valente biografo e filosofo latino, il quale oltre a descrivere le vicende del suo tempo intuì che la rotazione lunare le impedisce la caduta sulla Terra e che quindi anche gli astri sono corpi in reciproca attrazione: affermò inoltre che la superficie lunare è di natura uguale a quella terrestre nonché composta di monti e valli luminose per effetto della riflessione della luce solare.

¹¹ **Anno tropico:** tropico deriva dalla parola greca *tropos*, ritorno, difatti è l'intervallo di tempo tra due passaggi consecutivi del Sole per il punto gamma, cioè all'equinozio di primavera; oppure il periodo che impiega il Sole per aumentare la sua longitudine di 360°: ma per effetto della precessione degli equinozi il punto gamma si sposta di 50,26" di grado l'anno, in senso opposto al moto del Sole. Durante un anno tropico la Terra compie una rivoluzione completa solo dopo questo breve tempo che risulta più corto di quello sidereo. Su questo periodo si basa la compilazione di tutti i calendari.

¹² **Anno sidereo:** è l'intervallo di tempo che il Sole impiega per percorrere l'intera eclittica, esso è quindi il vero periodo di rivoluzione della Terra.

¹³ **Astrolabio:** la parola deriva dal greco *astrolàbon òrganon* ossia *astron* (astro) e *lambàno* (io prendo) letteralmente strumento che prende le stelle o che le misura. Inventato da Ipparco nel II sec. a.C. la sua funzione principale è quella di indicare la posizione delle costellazioni a una data ora del giorno e dell'anno. E' uno strumento composto da un piatto ove sono impennate una tavola girevole che opportunamente ruotata in base a delle tacche orarie ai bordi, presenta un cerchio ove guardare la posizione delle stelle. Le stelle sono rappresentate in proiezione sferica verso una superficie piana, con coordinate e possibilmente i con nomi delle costellazioni. In genere il cielo viene rappresentato proiettando il nord celeste della latitudine del luogo.

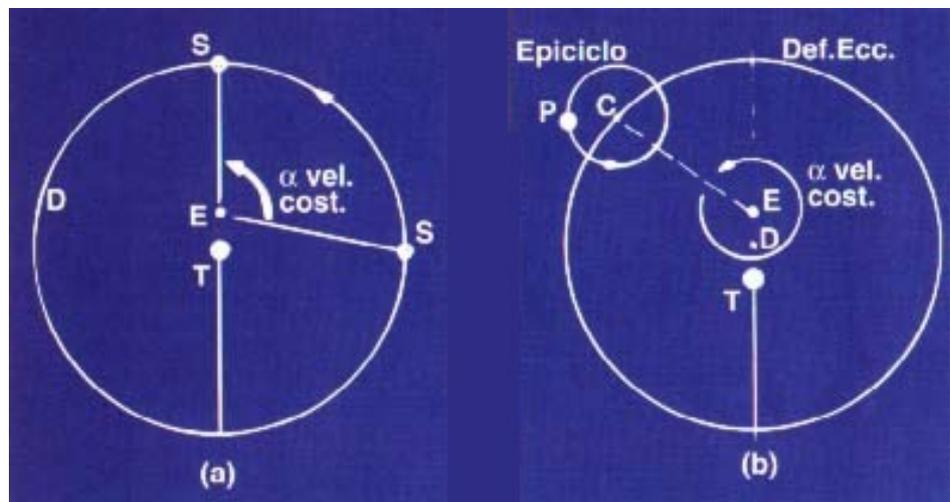
¹⁴ **Diootra:** il termine diootra deriva dal greco *dioptra* (*dià* = attraverso e *pteuo* = osservo), è in sé riferibile a qualunque strumento munito di uno o più traguardi forati attraverso cui osservare. In effetti la prima diootra di Ipparco era formata da una guida scanalata lunga 2 metri dove erano montate due pinnule rettangolari. La prima, fissa a un estremo della guida, reca un piccolo foro d'osservazione; la seconda, scorrevole lungo la scanalatura, è priva di fori. Puntato lo strumento, si sposta avanti e indietro la pinnula mobile finché si copre esattamente il disco del Sole o della Luna. Il rapporto fra il diametro della pinnula mobile e la sua distanza dalla pinnula fissa, permette di calcolare l'angolo sotteso dal corpo celeste.

IL MEDIOEVO

L'ultimo grande astronomo dell'antichità

La fama di **Claudio Tolomeo** (100-168 d.C.) è sorta grazie al libro “*L'almagesto*” che deriva il suo nome dalla parola “la grandissima”, in greco “meghiste” e in arabo “al maghiste”. I libri dell’Almagesto sono un riepilogo di tutto il sapere del passato, ed erano talmente completi da divenire in breve tempo un riferimento duraturo per i secoli futuri. In essi Tolomeo riprese e riadattò le vecchie teorie astronomiche alle nuove scoperte: stabilì il sistema geocentrico come

punto irremovibile delle sue idee, dal quale giustificò il moto dei pianeti con le teorie di *Apollonio* ed *Ipparco* usando epicicli e deferenti; e nel cercare di creare un modello quanto più preciso possibile, ma



soprattutto che non differisse dalle osservazioni, introdusse il concetto di *equante*¹⁵, perfezionando l'ipotesi dell'eccentrico di Apollonio: ossia che l'orbita della Terra si trovi leggermente discostata dal centro del cerchio deferente, e che il centro di rotazione del deferente sia a sua volta leggermente eccentrico ma con un moto angolare costante. Con questo “stratagemma” Tolomeo riuscì a non discostarsi troppo dai principi aristotelici di circolarità delle orbite e di costanza del moto, difatti l'eccentricità produce un moto che dalla Terra appare non costante, anche in realtà risulterebbe continuo. Fu anche con questo sistema che riuscì a giustificare tutti i moti dei pianeti, anche quelli retrogradi, rispetto la volta celeste.

Anch'egli accettò la *precessione degli equinozi*, dando però un valore stranamente peggiorato nella stima, data la possibilità di effettuare misure ancor più precise del passato. Scoprì poi *l'evezione lunare*¹⁶ e determinò la distanza della Luna col metodo della parallasse diurna. Creò

¹⁵ **Equante:** metodo simile a quello dell'eccentrico, introdotto da Tolomeo per giustificare i moti dei pianeti. L'equante è un punto spostato rispetto al centro della Terra, il Sole ruotando attorno alla Terra (secondo il sistema Tolomaico), mantiene costante la sua velocità angolare rispetto l'equante.

¹⁶ **Evezione:** è un'irregolarità del moto in longitudine della luna dovuto all'eccentricità della sua orbita perturbata dal Sole.

un *catalogo stellare* con 1028 stelle usando le carte di Ipparco con cui divise il cielo in costellazioni, tra le quali le 12 dello zodiaco, usando il metodo delle magnitudini stellari.

Fu un evoluto *cartografo*, rinomato fin tutto il medioevo: alcune delle sue mappe le usò persino Colombo nel suo viaggio verso le americhe. Tuttavia pur dividendo giustamente il mondo in meridiani e paralleli, fece l'errore di adottare la misura del meridiano di Posidonio e non quella di Eratostene, ben più precisa: da ciò le sue mappe risultano falsamente allungate. Affrontò infine i problemi della rifrazione e dell'ottica. Nel "*Tetrabiblos*", un libro assai famoso perché considerato la "bibbia" dell'astrologia, innalza la stessa come scienza esatta.

I primi strumenti dell'astronomia

Agli albori dell'astronomia l'unico "strumento" che l'uomo aveva a disposizione era l'occhio, l'unico rivelatore e analizzatore naturale atto a conoscere il cielo. In epoca preistorica probabilmente, venivano usati strumenti semplici di cui non siamo a conoscenza, atti a misurare la posizione degli astri; tuttavia quello che conosciamo di più è il *merkhet*, utilizzato dagli egiziani e costituito da due fili a piombo retti da due osservatori. Il merkhet serviva per individuare la posizione degli astri.

Abbiamo già citato le costruzioni megalitiche, forse i migliori strumenti per determinare il tempo e le eclissi. Certamente la loro erezione prefigura tutta una serie di conoscenze e tecniche oggi perse. Abbandonando subito la trattazione sugli innumerevoli monumenti del cielo, parliamo di metodi ben più semplici, come quelli usati dagli antichi popoli dell'isola di Giava. Essi per individuare la data della semina, puntavano una mano piena di riso alla sera in direzione della cintura di Orione, se cadevano alcuni chicchi era il momento giusto. Invece la tribù dei Daiacchi nel Borneo, usava con lo stesso metodo una canna di bambù piena d'acqua, appena il quantitativo scendeva sotto un certo livello, era giunto il momento per seminare.

Un altro strumento usato nell'antichità era *l'asta di Archimede*. Consiste in un'asta di legno sopra un'estremità della quale l'osservatore osservando il sole tra le nubi può determinare la distanza angolare del disco solare.

Ipparco usava le *sfere armillari*¹⁷, scoperti forse da Eratostene. Ciascuna armilla consisteva in un anello di bronzo puntato l'uno sul piano dell'equatore celeste e l'altro verso i poli dell'eclittica; tramite altri cerchi interni movibili era possibile puntare un astro e determinare così le coordinate celesti.

¹⁷ **Sfera armillare:** strumento usato nell'antichità per mostrare e osservare i movimenti del cielo. Consiste in diversi cerchi che rappresentano rispettivamente: il meridiano, l'orizzonte, l'equatore e l'eclittica.

Tolomeo introdusse il *quadrante*¹⁸. Ma per eliminare gli errori di misura, Tolomeo introdusse successivamente il *triquetrum* o regolo di Tolomeo. Si trattava di un palo verticale e di due regoli incardinati sul palo stesso, il regolo superiore poteva scorrere su quello inferiore che era graduato, e dato che essi formavano un triangolo isoscele, era facile determinare la distanza zenitale. L'ultimo strumento introdotto da Tolomeo era l'*astrolabio* (probabilmente scoperto da Ipparco e sviluppato poi dagli arabi), esso diverrà un vero gioiello tecnico-matematico. Esso era costituito da un'armilla e da un regolo con due traguardi, ma nei modelli più complessi esso diventava persino un piccolo planisfero celeste. Alcuni modelli avevano diverse funzioni, dalla determinazione delle altezze, sino alla possibilità di prevedere la posizione degli astri in base all'orario. L'astrolabio infatti riportava in piano tutte le coordinate celesti, divenendo ben presto uno strumento fondamentale per lo sviluppo dell'astronomia, paragonabile solo al futuro telescopio.

L'astronomia araba

Con la caduta dell'Impero Romano iniziava in Europa il periodo medioevale, periodo in cui lo sviluppo delle scienze ebbe una brusca frenata; tuttavia l'arrivo degli arabi nel sud dell'Europa, in particolare in Spagna e in Sicilia, determinò il mantenimento di una fiorente cultura del cielo che avrebbe influenzato le future generazioni; basti pensare che buona parte dei nomi delle stelle del cielo (*Deneb, Altair, Mira, Aldebaran*, ecc.) e alcuni termini astronomici (*zenit, nadir, almanacco, algoritmo, algebra* ecc.) hanno origine araba. Infine bisogna ricordare l'introduzione del sistema di numerazione arabo, ben più semplice di quello romano e ben più pratico.

Valenti scienziati hanno reso possibile il fiorire di questa cultura: al-Battani latinizzato in **Albategnio** (858-929), attivo al Cairo, fu il più grande astronomo arabo autore di misure che migliorarono la conoscenza dell'inclinazione dell'asse terrestre; **Arzachel** (1029-1087), arabo di Cordova autore delle celebri tavole planetarie note come *Tavole Toledane*; l'andaluso Ibn Rushd, **Averroè** (1126-1198), il quale criticò apertamente la teoria degli epicicli sostenendo l'irrealtà dei cerchi eccentrici e dei deferenti.

Il contributo arabo quindi è stato notevole nel mantenere e nel migliorare le scienze astronomiche, anche se non è riusciti a scardinare ancora le granitiche convinzioni geocentriche.

¹⁸ **Quadrante:** consiste in un quarto di cerchio quadrato sostenuto verticalmente da un treppiede. I primi modelli maggiori furono costruiti da Tycho Brahe su di un muro, con un braccio girevole ove misurare la distanza zenitale e quindi l'altezza dell'astro. Il quadrante orientato secondo il meridiano del luogo permetteva di ottenere la declinazione per determinare le coordinate dell'astro.

L'EPOCA MODERNA

Il tramonto del geocentrismo: da Copernico a Galilei

Si può ben affermare che l'astronomia moderna cominci da **Niccolò Copernico** (1473-1543); il suo contributo infatti, ha permesso alla scienza e al pensiero umano di liberarsi dai vecchi pregiudizi medioevali e aprire così, l'epoca delle grandi scoperte. Nella nuova visione copernicana la Terra orbita intorno al Sole con moto circolare, in tal modo il moto dei pianeti e le elongazioni di Mercurio e Venere venivano spiegati con estrema semplicità, senza dover ricorrere "all'artificio" degli epicicli e dei deferenti. Questa visione ripresa da Aristarco di Samo, poneva non pochi stravolgimenti filosofici all'uomo del tempo, la Terra infatti sarebbe risultata decentrata rispetto la tradizionale visione dell'Universo. Questo punto era il principale ostacolo all'introduzione del suo modello: porre l'uomo in una posizione secondaria rispetto gli intenti del Creatore. Il problema più grande infatti era l'accettazione di tali teorie da parte della Chiesa; Copernico però, essendo in buoni rapporti col Papa non ebbe gli stessi problemi che accompagnarono l'uscita delle opere di Galileo. Il "*De revolutionibus orbitum coelestium*" (pubblicato il giorno in cui morì Copernico) non suscitò alcuno scandalo, sia perché i contenuti del testo avevano un carattere prettamente matematico e quindi di difficile comprensione, sia perché fu apposta una gradita dedica a Papa Paolo III: il libro infatti fu considerato come una delle tante ipotesi del tempo.

Tre anni dopo la morte di Copernico nacque da una nobile famiglia danese **Tycho Brahe** (1546-1601), considerato tra i più grandi osservatori del passato. All'età di 30 anni ottenne dal re di Danimarca la concessione dell'isolotto di Hveen, ove avrebbe costruito l'osservatorio più importante dell'epoca.

Nel 1572 osservò una stella luminosa quanto Venere nella costellazione di Cassiopea: era una *nova* (termine coniato da Tycho Brahe e poi ufficialmente introdotto). A seguito di questo fenomeno che seguì con molta costanza per 18 mesi, sino a che la stella non scomparve del tutto, il cielo detto delle "stelle fisse" aveva subito uno strano fenomeno. Che cosa aveva osservato Brahe? Egli cercò di spiegare il fenomeno pensando ad un'origine sublunare e quindi molto vicina alla Terra, ma in questo caso avrebbe dovuto notare uno spostamento di parallasse, cosa che non riscontrò; pensò quindi ad un corpo oltre la "sfera" della Luna. Sicché a seguito del passaggio di due comete nel 1577 e nel 1583 dedusse che questi corpi, tanto variabili, si trovassero oltre l'orbita lunare; cominciava quindi a cadere l'idea delle sfere associate al Sole, alla Luna e ai pianeti, come pensava Aristotele, così come cominciava a cadere l'idea dell'immutabilità del cielo stellato. Brahe

tuttavia non credeva totalmente al rinnovamento copernicano, essendo convinto che i pianeti ruotassero attorno al Sole e che a sua volta tutti orbitassero attorno alla Terra immobile.

Ma la fama di Brahe non è legata solo a queste considerazioni, ma alle precise osservazioni effettuate con strumenti da lui stesso realizzati. Con proverbiale costanza produsse una notevole quantità di osservazioni e misure successivamente utili al suo allievo Keplero. Brahe determinò con precisione la *lunghezza dell'anno terrestre*, riscontrando l'accumulo di errori dal passato, tanto da rendere inevitabile la riforma del calendario. Riuscì poi a stabilire con una precisione mai raggiunta: *l'obliquità dell'eclittica, l'eccentricità dell'orbita terrestre, l'inclinazione del piano dell'orbita lunare e l'esatta misura della retrogradazione dei nodi*¹⁹, scoprendo la non costanza del moto. Infine compilò il primo *catalogo moderno di posizioni stellari* con oltre 1000 stelle.

Joannes Kepler (1571-1630) nato a Weil der Stadt in Germania, sosteneva già prima di Newton la gravità dei corpi, affermando l'esistenza di una forza emanata dal Sole inversamente proporzionale alla distanza. Nel 1600 andò a *Praga* a lavorare come assistente di Brahe, due anni dopo venne nominato suo successore. Keplero non fu un grande osservatore, sia per la sua vista difettosa che per la salute non sempre buona, egli infatti, utilizzò teoricamente le osservazioni di Brahe per comprendere meglio le orbite dei pianeti. In particolare studiando l'orbita di Marte si accorse dell'esistenza di incongruenze tra teoria e pratica; provando e riprovando Keplero capì che per limitare gli errori di calcolo l'unico modello che potesse spiegare il moto fosse quello ellittico, con il Sole in uno dei fuochi. Con tale deduzione Keplero gettò le basi alla meccanica celeste; le tre *leggi di Keplero*²⁰ infatti, furono una vera e propria rivoluzione, abbattendo l'ultima barriera ideologica alla radicata convinzione dei moti uniformi e circolari delle orbite dei pianeti.

¹⁹ **Linea dei nodi:** è la linea di intersezione tra il piano dell'orbita terrestre (eclittica) e quello dell'equatore celeste. Ma assume questo nome anche l'intersezione con l'orbita lunare o dei pianeti.

²⁰ **Leggi di Keplero:**

- prima legge di Keplero: *i pianeti descrivono attorno al Sole orbite ellittiche nelle quali il sole occupa uno dei fuochi*. L'orbita dei pianeti oltre a non essere circolare, prevede una posizione eccentrica del corpo celeste rispetto l'orbita.
- seconda legge di Keplero: *le aree descritte dal raggio vettore che congiunge il Sole col pianeta descrive aree uguali in tempi uguali*. In queste parole si afferma come le velocità orbitali dei pianeti variano da punto a punto dell'orbita, in particolare all'afelio (punto più vicino) la velocità aumenta, e al perielio (punto più lontano) diminuisce.
- terza legge di Keplero: *i quadrati dei periodi (P) di rivoluzione dei pianeti attorno al Sole sono proporzionali ai cubi dei semiassi maggiori (a) delle loro orbite*. Ossia si stabilisce un rapporto di proporzionalità tra i

periodi di rivoluzione e lunghezze dei semiassi maggiori dell'orbita, quindi : $\frac{P_1^2}{P_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$.

Keplero diede anche un resoconto delle osservazioni relative alla cometa del 1607 che diverrà la *cometa di Halley*, e di altre tre comete apparse nel 1618. Egli condivideva con Brahe la convinzione che le comete fossero di origine celeste e che si muovessero in orbite rettilinee e che una volta passate vicino alla Terra non ricomparissero più; confermò inoltre le idee di Fracastoro e Apianus, che le code delle comete si dispongono sempre in direzione opposta al Sole, e che pertanto nascano dalla penetrazione dei raggi solari.

Galileo Galilei (1564-1642), il famoso astronomo e fisico italiano, cominciò gli studi con corsi di medicina e matematica. Nel 1604 osservò una *nova in Ofiuco*, fenomeno osservato alcuni anni prima anche da Brahe in Cassiopea. Nel 1609 mentre si trovava a Venezia venne a sapere dell'invenzione del *telescopio*; dopo essersi documentato, ne costruì uno tutto suo migliorandone le prestazioni e gli ingrandimenti. Ma quando lo puntò in cielo, le sue osservazioni rivelarono un universo mai visto prima, la *luna* aveva una superficie scabrosa, *Giove* era circondato da quattro satelliti che gli ruotavano intorno, la *Via Lattea* era risolta in milioni di stelle, *Saturno* mostrava uno strano aspetto, mentre *Venere* aveva le fasi come la luna: annotando tutte le osservazioni nel "*Sidereus Nuncius*". Osservò anche le *macchie solari*, annotando le sue considerazioni in un libro appositamente dedicato del 1613. Queste scoperte eclatanti cambiarono molte cose nella sua vita, Galileo infatti fu accolto alla corte di Cosimo II a Firenze come matematico di corte, mentre la pubblicazione del "*Sidereus Nuncius*" riscosse notevole successo, vendendo sin da subito molte copie. Ciò che stupì i dotti di tutta Europa furono le sconvolgenti scoperte dell'italiano, scoperte che avvaloravano in maniera spregiudicata le idee copernicane, mettendosi così in aperto contrasto con le posizioni della Chiesa.

Il notevole clamore suscitato da queste affermazioni allertò i dirigenti della Sacra Inquisizione che cominciarono a investigare sullo scienziato pisano. Nel 1632, dopo aver pubblicato il "*Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*", dove si affermavano apertamente le idee eliocentriche di Galileo, l'inquisizione si mosse per tempo considerando le sue affermazioni eretiche: per questo motivo fu chiamato ad abiurare. La commissione che giudicò Galileo tra l'altro, fu la stessa che mandò al rogo Giordano Bruno nel 1600, il quale asserì l'esistenza di un universo infinito costituito da molteplici mondi.

Galileo inoltre scoprì *l'isocronismo del pendolo*, determinò alcuni *teoremi sul baricentro dei corpi* e sulla *caduta dei gravi*, introdusse anche la *bilancia idrostatica* per determinare il peso specifico dei corpi. Ma il più grande contributo che egli diede all'umanità fu l'applicazione del *metodo scientifico*, ossia la necessità di dimostrare con veridicità sperimentale di ogni affermazione o scoperta scientifica, senza soggettivi pregiudizi.

Nascita del sistema solare: la teoria dei vortici

Mentre il sistema copernicano inevitabilmente si affermava, **René du Perron Descartes** detto **Cartesio** (1596-1650) noto soprattutto come filosofo e matematico, espose una prima teoria sull'origine del sistema solare. Egli sosteneva che lo spazio era pieno di sostanze rarefatte messe in moto da Dio, le quali si muovono in innumerevoli vortici, in ogni vortice vi sarebbero due tipi di agglomerati: un tipo di agglomerato formerebbe le stelle, mentre un altro tipo creerebbe i pianeti. Uno dei tanti vortici poi avrebbe formato il sistema dei satelliti gioviani. Il filosofo del *Cogito ergo sum* propose anche le *leggi del moto*, un'introduzione teorica alle leggi successivamente avvalorate dalla matematica di Newton.

In quello stesso periodo **Pierre Gassendi** (1592-1655) filosofo, astronomo, matematico e fisico francese, criticò Cartesio soprattutto per l'idea sul carattere soggettivo delle verità scientifiche. Egli inoltre mise in evidenza l'incongruenza della fisica e della metafisica aristotelica. Nel campo degli studi fece numerose osservazioni sui satelliti di Giove, approfondì lo studio di Mercurio e si occupò come Galileo delle leggi dell'urto e della caduta dei gravi, nonché misurò la velocità di propagazione del suono. Nel 1625 scrisse a Galileo per manifestargli la sua ammirazione.

Altro importante astronomo dell'epoca è **Giovanni Battista Riccioli** (1598-1671), il quale pubblicò una mappa lunare contenente i nomi dei crateri e delle conformazioni lunari tuttora valide; il suo lavoro fu in realtà una continuazione e un perfezionamento di quello iniziato da Hevelius.

IL SEICENTO

L'astronomia matematica: Newton

Isaac Newton (1642-1727) nacque con alcuni problemi di salute, i quali però non gli impedirono di studiare al Trinity College di Cambridge. Già dal periodo universitario si occupò di studi matematici, di osservazioni astronomiche, fisiche e chimiche.

Nel 1686 pubblicò la sua famosa opera "*Philosophiae naturalis principia mathematica*", che contiene anche le *tre leggi fondamentali della dinamica*²¹. I Principia furono una pubblicazione

²¹ **Principi della dinamica:**

1° *un corpo persevera nel suo stato di quiete o di movimento rettilineo uniforme finché non giunge una causa esterna a modificarla.*

d'importanza epocale, nella quale Newton afferma inoltre *la legge di gravitazione universale*²², vari studi sul moto dei fluidi e le leggi dell'urto; a lui si deve anche il *calcolo infinitesimale*, le *funzioni di una variabile*, la costruzione di tangenti su curve piane. In ottica espose la teoria della scomposizione della luce bianca secondo la famosa esperienza del prisma, fornendo anche spiegazioni sul fenomeno dell'arcobaleno. Si può senza dubbio affermare che i Principia sono un testo che ha posto i fondamenti della scienza moderna.

In campo strettamente strumentale Newton è famoso per la configurazione ottica che porta il suo nome: il telescopio Newton. Rispetto i riflettori di Cassegrain e Gregory, applicando un secondario di 45° riuscì ad evitare la perforazione dello specchio primario. La configurazione Newton permette inoltre la possibilità di costruire strumenti di dimensioni maggiori e di facile costruzione, inoltre rispetto i modelli a lenti, elimina il difetto dell'aberrazione cromatica delle immagini.

Studiò anche la *forma della terra*, l'effetto delle perturbazioni dovute all'azione gravitazionale del Sole e quindi il fenomeno delle *maree*, dalla quale risalì anche alla valutazione della massa della Luna, interpretò la *precessione degli equinozi* partendo dalla forma irregolare della Terra. Valutò lo schiacciamento polare conoscendo la velocità di rotazione e le dimensioni del pianeta.

Nel corso della sua vita divenne anche *ispettore della Zecca dello Stato*, *presidente della Royal Society* e *baronetto della regina*.

Gli strumenti ottici

Il primo passo verso l'astronomia ottica si è avuto grazie alle ricerche di **Ruggero Bacon** (1212-1239), il quale studiò le proprietà delle lenti piano convesse ottenute sezionando una sfera di vetro con un piano. Bacon notò che l'ingrandimento ottenibile era determinato dalla rifrazione dell'immagine, esso dipendeva dalla lunghezza focale della lente e dalla distanza su cui si poneva l'occhio; difatti di lì a poco le lenti si diffusero con i primi modelli di occhiali da vista. Tuttavia per un uso astronomico si dovrà attendere il 1608, quando gli olandesi costruiranno un modello semplice di *telescopio rifrattore*, strumento che l'anno successivo fu perfezionato da Galileo. Le

2° una forza imprime ad un corpo un'accelerazione direttamente proporzionale all'intensità della forza applicata e alla massa: $F = m \times a$.

3° ad ogni azione corrisponde una reazione uguale e contraria.

²² **Legge di Newton:** afferma che *due corpi si attraggono con una forza che è direttamente proporzionale al prodotto delle masse e inversamente proporzionale al quadrato della distanza:*

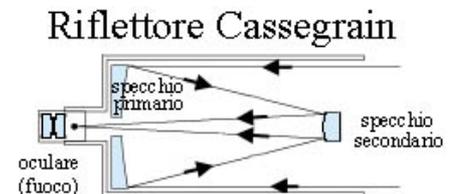
$$F = G \frac{m_1 \times m_2}{d^2} \text{ ove } G \text{ è la costante di gravitazione universale.}$$

scoperte di Galileo sono ben note, così come è ben nota la rivoluzione introdotta: l'astronomia ottica era avviata.

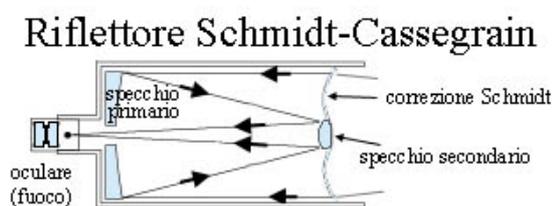
Con l'avvento dell'ottica le tecniche di lavorazione delle lenti migliorarono; il modello galileiano soffriva di difetti insiti nelle proprietà delle lenti. Le lenti infatti non concentrano i fasci luminosi in un unico punto ma lo dividono in fasci che vanno dal rosso al violetto; per questo motivo le immagini soffrono della cosiddetta aberrazione cromatica, per la quale l'immagine ha difficoltà ad essere messa a fuoco perfettamente. Per risolvere questo difetto, conveniva costruire lenti di piccola curvatura e di grande distanza focale. Così Hevelius nel 1647 costruì uno strumento a focale di 3,5 m, ma successivamente, questo valore aumentò giungendo a 7,5 m o ai 50 m dello strumento di Huygens, applicando la cosiddetta *montatura aerea*, soluzione che comportava l'applicazione di un filo teso su cui centrare l'oculare con la lente primaria.

Nel 1663 **James Gregory** creò uno strumento che raccoglieva luce in uno specchio paraboloidico il quale rifletteva la luce su di un secondario che la rifletteva al primario attraversandolo tramite un foro centrale. L'idea era buona ma vi erano ancora enormi problemi pratici.

Nel 1666 Newton facendo passare un fascio di luce solare attraverso un prisma di vetro ottenne uno spettro di colori che egli concepì come costituenti naturali della luce bianca. Concluse anche che l'aberrazione sferica era causa della rifrazione dei colori. Sicché nel 1668 costruì il *modello newtoniano*, con un primario sferico modificato e un secondario inclinato a 45°. Successivamente **Cassegrain** costruì il suo celebre modello, modificando quello proposto da Gregory, applicando come secondario un convesso al posto di un concavo.



Nella prima metà dell'800 **Fraunhofer** sviluppa le *lenti acromatiche*, lenti che eliminano l'aberrazione cromatica nelle immagini interponendo altre lenti di correzione; in questo modo i telescopi rifrattori cominciano a diffondersi molto più del passato. Ulteriori passi sono stati compiuti tramite altre configurazioni a riflessione, l'ultima delle quali ad opera di **Schmidt** che inventò l'omonima combinazione ottica nei primi del '900. Egli ebbe l'idea di correggere l'aberrazione sferica degli specchi con una lente posta al centro di curvatura, riuscendo in tal modo ad ottenere un campo corretto di oltre 5 o 6 gradi; inoltre rispetto ai comuni riflettori, lo Schmidt



consentiva un grande campo e una notevole luminosità, tanto da ottenere delle foto con tempi bassi. Successive configurazioni hanno permesso la creazione di modelli misti come lo *Schmidt-*

Cassegrain o il *Maksutov-Cassegrain*, strumenti adatti alle varie esigenze degli osservatori e degli astrofilo.

I telescopi migliorano: le nuove scoperte

Christian Huygens (1629-1695) fisico, matematico, ottico e astronomo olandese, fu una delle figure eminenti del '600. Si dedicò a studi di fisica e meccanica ottenendo delle scoperte fondamentali, studiando inoltre i sistemi rigidi di un punto in movimento.

Nel 1673 pubblica "*Horologium oscillatorium*" dove espone i problemi legati al pendolo; raccogliendo l'eredità dei primi studi di Galileo, riuscì a *perfezionare gli orologi a pendolo* introducendo un bilanciere a molla per cronometri, atto ad essere trasportato per mare, nonché l'uso della *molla a spirale per gli orologi portatili*. Prendendo in esame la forza centrifuga e la gravità, fu il primo a notare la variazione della *forza centrifuga* tra poli ed equatore, riuscendo ad esprimere tale forza anche da un punto di vista matematico: constatò che il pendolo che batteva il secondo a Parigi, a Cayenne (cioè a differente latitudine) perdeva 2 minuti ogni 24 ore.

A lui si deve la prima ipotesi della *conservazione dell'energia*, introducendo la "forza viva" che successivamente sarà chiamata "*energia cinetica*", applicata concettualmente anche alla possibilità di spiegare i fenomeni naturali intermini di cambiamenti di velocità e posizione di atomi microscopici.

Fu il primo ad ipotizzare *una teoria ondulatoria della luce* secondo piccole esperienze, entrando così in polemica con Newton il quale sosteneva la teoria corpuscolare, polemica che sarebbe terminata solo con la moderna concezione della natura della luce: sia ondulatoria che corpuscolare. Tramite deduzioni matematiche, calcolò assieme a Newton lo *schacciamento terrestre*. Si interessò anche alla teoria dei vortici di Cartesio, cercando di perfezionarla.

Si occupò anche di *ottica*, migliorando notevolmente gli strumenti astronomici, costruendo un *oculare per cannocchiali* formato da due lenti pianoconvesse, adatto a ridurre l'aberrazione cromatica, proponendo inoltre nuove tecniche di lavorazione delle lenti. Queste migliorie ottiche gli consentirono di scoprire gli *anelli di Saturno* e la sua luna più grande, *Titano* (1665), con un rifrattore a fuoco lungo di 3,5 m. Inoltre osservò le zone chiare e scure di *Marte*, ne determinò il periodo di rotazione e osservò delle macchie chiare su *Giove* nonché la nebulosa di Orione.

Giovanni Domenico Cassini (1625-1712) fu un grande astronomo italiano poi naturalizzato francese. Nel 1669 venne chiamato a Parigi da Luigi XIV per divenire *direttore dell'Osservatorio di Parigi e membro dell'accademia delle scienze*. La presenza di nuove tecniche di costruzione dei telescopi gli avrebbe permesso di usare strumenti molto più precisi rispetto al passato, difatti con un

rifratore di 70 m di lunghezza focale scoprì nel 1665 una breccia sugli anelli di Saturno, la cosiddetta *divisione di Cassini*. Successivamente scoprì alcuni satelliti: *Giapeto* (1671), *Rea* (1672), *Dione* e *Teti* (1684). Osservò al telescopio Marte e Giove (il primo disegno di Marte che si conosca risale al 1636 ad opera di Francesco Fontana a Napoli), determinandone il periodo di rotazione con tempi molto precisi. Sulla superficie marziana scoprì e poi osservò il ciclo stagionale delle *calotte polari*. Su Giove creò delle *effemeridi* per prevedere il moto dei satelliti Medicei. Determinò anche l'*unità astronomica*²³ con un errore del 10%.

Da un punto di vista teorico però, Cassini non fu mai aperto alle nuove idee, non accettò il modello copernicano, non ammise che la luce aveva una velocità finita come dimostrò Römer, e non accettò nemmeno la teoria sulla gravitazione universale.

Ole Christensen Römer (1644-1710) astronomo danese, collaborò con Cassini all'introduzione del *micrometro filare* ed ebbe anche la prima idea di *montatura equatoriale*²⁴. Il suo nome però, è legato indubbiamente alla prima vera misurazione della *velocità della luce*; utilizzando gli effemeridi di Giove notò come persistesse nel calcolo teorico un certo tempo tra il fenomeno calcolato (eclissi o transito del satellite) e la realtà. Da ciò dedusse che data la notevole distanza tra la Terra e Giove, la luce impieghi un determinato tempo per arrivare sino alla Terra, contraddicendo le convinzioni dell'epoca sull'istantaneità dei fenomeni luminosi. Determinò col calcolo una velocità di 225 mila Km/s contro i 300 mila reali, era un errore grossolano di misura, ma fu un decisivo passo in avanti nella conoscenza dell'Universo.

Edmund Halley (1656-1742) astronomo e geofisico inglese. A 22 anni compilò un catalogo stellare meridionale che gli valse il soprannome di "Tycho del sud", dove aveva studiato anche le Nubi di Magellano e il passaggio di Mercurio sul sole del 1677. Dopo alcuni rapporti con l'astronomo reale **Flamsteed**, nel 1678 Halley fu nominato membro della *Royal Society*. Viaggiò in Europa incontrando scienziati e astronomi come Hevelius e Cassini, poi tornò in Inghilterra dove collaborò con Newton; fu proprio Halley ad incoraggiare Newton alla pubblicazione dei Principia. Fece molti altri studi di astronomia, come ad esempio la *misurazione della distanza del Sole sfruttando i transiti di Venere*: dopo tre tentativi riuscì a determinarla con un errore in eccesso dello 0,7%.

Nel 1682 osservò la cometa che prenderà il suo nome, supponendo un'orbita ciclica di 76 anni. Tramite i calcoli predisse il successivo passaggio che avvenne puntuale, ma che egli non vide

²³ **Unità astronomica:** distanza media Terra-Sole, ossia 150 milioni di chilometri circa, 1 UA. L'UA è un'unità di misura della distanza dei pianeti del sistema solare: ad esempio Giove è posto a 5,2 UA, Plutone a 39,5 UA.

²⁴ **Montatura equatoriale:** montatura per telescopi di cui uno degli assi di rotazione è posto parallelo all'asse della Terra o asse polare (in genere puntando la stella polare). Tale caratteristica permette l'inseguimento degli oggetti celesti con un solo movimento della montatura a controbilanciare il moto terrestre.

a causa della sua morte. Nel 1718 *mise in evidenza i moti propri delle stelle*, dimostrando che almeno tre di esse: Sirio, Prozione e Arturo avevano cambiato posizione dai tempi di Tolomeo, *scoprì inoltre l'ammasso dell'Ercole*.

Nelle altre scienze propose di calcolare l'età della Terra in base alla concentrazione salina delle acque del mare, nonché *disegnò la prima carta meteorologica* del mondo, studiò il magnetismo terrestre e lo spostamento dei poli magnetici.

James Bradley (1693-1762) succedette Halley divenendo terzo astronomo reale. Il suo nome è legato alla scoperta dell'*aberrazione della luce* che aprì la strada alle future misure di parallassi stellari. Osservando la stella γ *draconis*, sospettata di mutare posizione, scoprì uno spostamento opposto a quello dovuto. Annotando tutti i dati necessari quali temperatura e comportamento del telescopio, annunciò nel 1729 la scoperta dell'aberrazione. A seconda della posizione della stella in cielo, esiste una variazione annua della luce delle stelle causata dal rapporto tra velocità della luce e velocità della Terra: l'unione delle due componenti determina lo spostamento. Egli tuttavia notò che calcolando gli effetti dell'aberrazione resisteva uno scostamento fisso di 2" d'arco, il quale indicava l'esistenza di un altro fenomeno: il fenomeno in questione era la *nutazione*²⁵, che determina uno spostamento delle posizioni stellari ogni 18,6 anni. Infine nel 1718 scoprì telesopicamente la *coppia di astri γ virginis*.

IL SETTECENTO

Il catalogo di Messier

Gli strumenti ottici dell'epoca consentivano già di migliorare sensibilmente le osservazioni del cielo, per al quale la costruzione di nuovi modelli permise svariate scoperte di oggetti del profondo cielo. **Charles Messier** (1730-1818) astronomo francese, pubblicò nel 1774 il celebre catalogo che porta il suo nome. Accanito *cacciatore di comete*: ne scoprì una quindicina e ne osservò molte altre, si appassionò nel catalogare gli oggetti del cielo inserendo anche una breve descrizione. Usò un modesto riflettore da 19 cm che usò presso l'Hotel de Cluny al centro di Parigi. Tra le sue scorribande celesti scoprì e catalogò diversi oggetti famosi tra nebulose, galassie e ammassi, giungendo al numero di 103 oggetti, anche se in seguito altri astronomi ne aggiunsero altri facendo arrivare il catalogo a 110.

²⁵ **Nutazione:** la Terra oltre ad essere interessata da un moto di precessione di 25.700 anni compie un moto di nutazione, ossia delle oscillazioni regolari dell'asse con una periodicità di 18,8 anni e un'ampiezza di pochi secondi d'arco. Il moto di nutazione è causato dalla reciproca azione perturbatrice di Luna e Sole.

Il *catalogo di Messier* per quanto innovativo, presentava delle lacune osservative causate dalla modestia dello strumento usato. Herschel infatti dopo quasi un secolo risolse in stelle oggetti che Messier considerava semplici nebulosità.

Herschel e la fortunata scoperta di Urano

Friedrich Wilhelm William Herschel (1738-1822) nacque ad Hannover in Germania, dal 1773 si occupò di astronomia con crescente impegno, costruendo di notte telescopi. Nel 1781 con un modesto 18 cm, scoprì *Urano*. Questa scoperta che lo fece divenire *astronomo del Re*, fu totalmente casuale, facendo conteggi stellari per determinare la forma della galassia, notò la presenza di un astro vicino alla stella 1 Geminorum; egli intuì che ciò che aveva all'oculare non era una stella, perché aumentando gli ingrandimenti aveva notato un dischetto circolare, ma una cometa. Fece così una comunicazione ufficiale alla Royal Society, dalla quale si constatò che egli aveva scoperto un pianeta. Dopo la scoperta del pianeta però, si scatenò un'inaspettata lotta che si protrasse per ben 50 anni per decidere quale nome dare al nuovo pianeta; Herschel lo voleva chiamare *Georgium Sidus* in onore del re Giorgio III, altri preferivano *Herschel* o *Hypercronicus* finché ci si accordò per *Urano*.

Nel 1787 scoprì anche due satelliti di *Urano*, *Titania* e *Oberon*, e fu il primo ad osservare anche *gli anelli di Urano* anche se l'effetto fu interpretato come un difetto d'ottica; gli anelli infatti verranno confermati solo nel 1977. Nel 1789 con un telescopio da 1,2 m di diametro, osservò per primo due satelliti interni all'anello di Saturno, *Encelado* e *Mimas*.

Creò un metodo per la stima delle magnitudini apparenti delle stelle paragonando lo splendore visuale di due stelle osservate contemporaneamente; introdusse i termini: fotografia, negativo e positivo. Nel 1804 dopo 24 anni di osservazioni con i telescopi più grandi dell'epoca, pubblicò un *elenco di 700 stelle doppie*; inoltre studiando la distanza angolare di molte doppie, comprese che le stelle doppie sono spesso un sistema di due astri che ruotano l'uno sull'altro, dimostrando l'universalità della legge di Newton. Scoprì il sistema doppio ξ *Bootis*, la doppia *Algieba* (α *Leonis*), l'ammasso globulare *NGC2419* nella Lince.

Risolse in stelle ciò che Messier descrisse come nebulosa, *M30* nel capricorno, *M62* nello Scorpione, *NGC2392*: la nebulosa planetaria Clown. Per ottenere questi risultati eccellenti Herschel aveva costruito uno dei telescopi più grandi dell'epoca, un newtoniano di ben 1,22 m di diametro e 12,20 m di lunghezza focale. Per costruirlo impiegò tre anni di lavoro dal 1786 al 1789 affinando anche le tecniche di lavorazione dei telescopi e delle ottiche. Questo sforzo gli valse grandiosi risultati, oltre alla già citata scoperta di *Urano* e di due suoi satelliti, nonché di altri due di Saturno,

studiò la forma visibile della galassia tracciandone un disegno completo e intuendo quindi la *forma lenticolare*. Fu infatti il suo lavoro ad avviare una visione globale dell'universo visto nel suo insieme di galassie e oggetti.

Osservò persino gli *effetti della radiazione infrarossa* e gli *effetti chimici di quella ultravioletta*, formulando l'ipotesi che fossero radiazioni della stessa natura, seppur per anni gli astronomi avrebbero continuato ad asserire la differenza tra il visibile e l'infrarosso. Il merito di aver dimostrato la finitezza del sistema solare è suo, così come è di Herschel il merito d'aver aperto la strada alla moderna astrofisica.

La legge di Titius-Bode

Nel 1755 l'astronomo tedesco **Daniel Johann Titius** (1729-1796) osservando i moti dei corpi del sistema solare si accorse che tra essi vi era una logica regolare. **Johann Elert Bode** (1747-1826) divulgò qualche anno dopo la legge che prese anche il suo nome: *legge di Titius-Bode*²⁶. Questa legge fu molto importante a suo tempo, perché riusciva a spiegare con buona approssimazione le distanze dei pianeti con un errore massimo del 7%. Difatti quando si scoprì Urano e poi Cerere, la legge ebbe grossa rinomanza poiché anticipava teoricamente le distanze e la presenza di quei corpi celesti. Dopo la scoperta di Nettuno e Plutone però, la legge cominciò a scricchiolare perché non spiegava più le distanze riscontrate nei nuovi pianeti, essa quindi fu accantonata come pura legge empirica.

La fama di Bode proviene anche dal fatto d'essere stato il promotore del nome Urano durante la disputa sul nuovo pianeta, nonché fu lo scopritore della *galassia M81*, *l'ammasso globulare M92* e la *galassia Occhio Nero M64*. Fu sempre Bode a tracciare per primo i *confini tra le costellazioni*, confini ufficialmente introdotti solo nel 1930 dall'Unione Internazionale Astronomica.

La meccanica celeste diviene sempre più precisa

In quell'epoca lo sviluppo della meccanica celeste ebbe un importante ruolo. **Giuseppe Luigi Lagrange** (1736-1813) fu un valido matematico ed astronomo italiano che oltre ai contributi alla matematica analitica e del calcolo delle funzioni, sviluppò un modello di meccanica celeste molto più complesso e preciso. Nel 1773 notò che era possibile esprimere la legge di Newton in

²⁶ **Legge di Titius-Bode:** secondo questa legge empirica se si pone uguale a 4 la distanza di Mercurio dal Sole, la distanza di Venere risulterà uguale a $4+3$, quella della Terra a $4+(3 \times 2)$, quella di Marte a $4+(3 \times 4)$, quella di Giove a $4+(3 \times 16)$, quella di Saturno a $4+(3 \times 32)$. In questa successione mancava una distanza intermedia che fu ricoperta successivamente dalla scoperta di Cerere. Anche Urano si accostava a tale legge. Fu poi la scoperta di Nettuno e Plutone che pose in evidenza i limiti di tale legge.

termini di azione di un campo di forza che riempie lo spazio in modo continuo. In questo modo egli *teneva ormai in considerazione gli effetti delle perturbazioni causate da altri pianeti* su diversi valori come: *inclinazione dell'orbita, direzione e lunghezza dell'asse maggiore, eccentricità dell'ellisse*. Risultava così, che i corpi celesti pur mantenendo la loro orbita stabilita nel tempo, subivano molteplici influenze da parte degli altri pianeti. Infine grazie ai calcoli teorici scopri che in un sistema di due corpi, come il Sole e la Terra o il Sole e uno dei pianeti, esistono ben cinque punti dell'orbita in cui un terzo corpo di massa inferiore avrebbe potuto risiedere in modo stabile. Questi punti furono chiamati "punti lagrangiani". Ma se dapprima si pensò ad essi come una curiosità scientifica, nel 1906 con la scoperta di un asteroide posizionato proprio in uno dei punti lagrangiani di Giove, si comprese che questi punti avevano delle implicazioni reali.

Altro valido contributo alla meccanica celeste, fu di **Pierre Simon Laplace** (1749-1827) che usò le concezioni Lagrangiane per spiegare meglio il moto dei corpi. Cercò ad esempio di spiegare il perché la Luna mostrasse uno strano comportamento, ossia perché nel suo moto orbitale subiva una lievissima accelerazione che faceva variare la lunghezza del mese lunare di un secondo in tremila anni. Egli suppose una lenta variazione dell'eccentricità terrestre, anche se in verità tale accelerazione è dovuta alla reciproca attrazione mareale che tende a sincronizzare il moto di rivoluzione e rotazione dei corpi: errò nel metodo ma ci azzeccò nella valutazione dei calcoli.

Scopri inoltre la *ciclicità del moto di Giove e Saturno*, ciclicità stimata in circa 900 anni, per cui i pianeti appaiono accelerare o decelerare reciprocamente. Tale variazione era già nota anche a Lagrange, ma solo Laplace ricondusse la variazione a un moto ciclico, confermando l'idea che il sistema solare presenta dei moti non casuali anche su grande scala temporale.

La nascita dell'astrofisica: le invenzioni di Fraunhofer e le misure di parallasse di Bessel

Joseph Von Fraunhofer (1787-1826) fu l'artefice di una piccola rivoluzione strumentale. Lavorando come dipendente presso una fabbrica di strumenti ottici, finì con l'entrare in società col proprietario. Nel 1812 cominciò a studiare un metodo per ottenere lastre di vetro prive di aberrazioni dell'immagine: per fare ciò aveva bisogno di lavorare su ogni singolo colore prodotto dalle aberrazioni; egli sfruttò il metodo del prisma con cui scompose la luce solare, ma nella scomposizione dei colori notò che lo spettro prodotto manteneva diverse righe nere del tutto indipendenti dal vetro usato: aveva scoperto le *righe di Fraunhofer*. Le righe nere infatti non dipendevano dall'ottica, ma dalla luce solare. Esse in realtà erano già state osservate da altri ottici, ma Fraunhofer fu il primo che ne annotò la posizione secondo la denominazione delle lettere

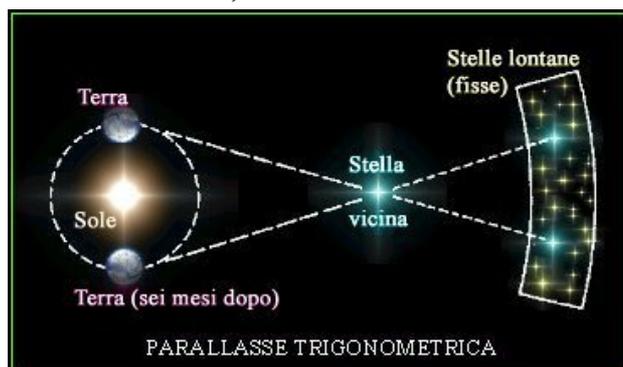
dell'alfabeto; sarà successivamente Kirchhoff ad interpretare correttamente l'origine delle strane righe nere.

Fraunhofer ebbe anche l'intuizione di usare per primo un *reticolo di diffrazione* al posto del prisma, per la scomposizione della luce. Con questo mezzo l'immagine degli spettri risultava più precisa di quella ottenibile col prisma, introducendo così un nuovo modello di spettroscopio.

Oltre a questa scoperta, Fraunhofer riuscì a costruire *lenti acromatiche*, ossia lenti che eliminano l'aberrazione cromatica nelle immagini. Perfezionò poi uno strumento che avrebbe premesso ulteriori scoperte astronomiche, *l'eliometro*²⁷; dapprima usato per la misura del diametro solare, a seguito dei perfezionamenti di Fraunhofer, Bessel riuscì ad ottenere la misura della prima parallasse stellare.

Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846) astronomo tedesco, fu uno dei più rappresentativi astronomi del XIX secolo. Nel 1833 realizzò un *catalogo stellare* che comprendeva osservazioni di 75000 stelle. Nel 1834 utilizzando le occultazioni stellari si rese conto che la Luna non poteva avere alcuna atmosfera.

Nel 1838 grazie all'introduzione dell'eliografo di Fraunhofer, Bessel riuscì ad osservare la *prima parallasse stellare*²⁸ e dunque determinare la distanza della stella. Per la prima misura Bessel scelse la stella 61 Cygni, dotata di maggior moto proprio rispetto le altre; dopo sei mesi di osservazioni riscontrò una parallasse che determinava una distanza di 10,7 anni luce, valore assai preciso anche per i nostri giorni.



Nel 1844 dopo decenni di osservazioni Bessel annunciò che Sirio ruotava attorno al baricentro di un sistema, ossia che *Sirio comprendeva un oggetto invisibile*. Queste scoperte aprivano la strada allo studio di posizione degli astri, nonché alla consapevolezza che l'universo visibile mostrava dimensioni enormi, ben oltre le aspettative iniziali.

²⁷ **Eliometro:** strumento ottico inizialmente destinato alla misura del diametro solare. Il modello costruito da Fraunhofer è costituito da due metà di una stessa lente che possono essere spostate rispetto l'altra. Le due metà forniscono due immagini distinte di una stessa sorgente, che vengono a coincidere, solo quando coincidono i centri delle due semi-lenti. Viceversa, se le sorgenti sono due è possibile, spostando una metà rispetto all'altra, portare a coincidere le immagini. In questo modo è possibile misurare la distanza angolare di due oggetti celesti vicini, esso funziona meglio di un micrometro filare perché più preciso.

²⁸ **Parallasse:** è un effetto ottico che consiste nello spostamento apparente di un corpo celeste al variare della posizione dell'osservatore espresso in gradi. La parallasse annua in particolare è causata dallo spostamento orbitale della Terra nella sua orbita. Tale spostamento consente la misurazione della distanza delle stelle più vicine.

La formazione del sistema solare

Le conoscenze oramai raggiunte nel campo della meccanica celeste permise lo sviluppo di teorie legate alla formazione del sistema solare partendo dalla prima teoria esposta: quella dei vortici di Cartesio. **Georges Louis De Leclere Buffon** (1707-1788) avanzò l'ipotesi che il sistema solare fosse nato dal Sole a seguito del passaggio ravvicinato di una stella, il corpo avrebbe estratto materia dal Sole creando i corpi planetari; questa idea venne subito definita come *teoria catastrofica*.

Nel 1755 il filosofo tedesco **Kant** (1724-1804) e successivamente nel 1796 in modo indipendente anche **Laplace** esposero una teoria nuova definita poi come *teoria di Kant-Laplace*. La teoria prevedeva la nascita del sistema solare da una nube di gas, la quale posta in rotazione per non collassare su se stessa, avrebbe formato al centro la stella che conosciamo, il Sole, e all'esterno il gas si sarebbe aggregato formando i proto-planeti; nel tempo il sole si sarebbe acceso come stella, e spazzata via la presenza di nubi e polveri ricadute poi sulle superfici planetarie, i cosiddetti proto-planeti sarebbero divenuti quelli che conosciamo ora. Questa teoria tutt'ora accreditata, spiega ad esempio il perché i pianeti gassosi si siano mantenuti all'esterno del sistema, nonché la disposizione uniforme sul piano dell'eclittica. Essa però mantiene delle incongruenze, ad esempio non si sa per quale motivo il materiale nebulare si sarebbe dovuto aggregare...

L'OTTOCENTO

La scoperta del primo asteroide

L'1 gennaio 1801 l'astronomo e abate **Giuseppe Piazzi** (1758-1826) allora direttore dell'Osservatorio di Palermo, scoprì un oggetto celeste che a prima vista sembrava una cometa. Divulgata la scoperta **Gauss** (1777-1855) cominciò a osservare il corpo per determinarne i parametri orbitali, ma l'oggetto passò dietro il Sole; fu **Olbers** (1758-1840) che lo ritrovò nel 1802. Valutata quindi l'orbita e la distanza, Herschel definì l'oggetto *asteroide*, in quanto era posto in un'orbita tra Marte e Giove, Piazzi poi lo battezzò col nome di *Cerere*. Ma nello stesso anno della scoperta di Cerere Olbers scoprì *Pallade*, e *Vesta*.

Dati i primi successi, il ritmo di ricerca aumentò, così come i metodi e la quantità di scoperte. Dal 1890 in poi, l'introduzione della fotografia nella ricerca migliorò notevolmente i risultati. Piazzi fu anche un valente osservatore, compilò un immenso catalogo stellare in cui aveva

determinato la posizione delle stelle con precisione di 0,5" d'arco, precisione che consentì poi di rivelare il moto proprio di diverse stelle. Con Piazzi inoltre il moto delle stelle entrò a far parte dei cataloghi stellari.

Il Sole e il ciclo delle macchie

Dell'esistenza delle macchie solari se ne aveva documentazione già dal IV secolo a.C. Numerose osservazioni di macchie sono state eseguite da vari osservatori e riportate negli annali dei popoli orientali. Anche nel seicento, con l'introduzione del telescopio, la presenza di macchie solari divenne oggetto di lunghi dibattiti. Nel 1848 però **Johann Rudolf Wolf** (1816-1893) introdusse un metodo di misura giornaliero delle macchie, detto anche "*numero di Wolf*"; questo valore tiene conto del numero di gruppi di macchie presenti e di quello singolo, seguito da un fattore K di valutazione delle condizioni di osservazione. Subito dopo l'introduzione di questo metodo è stato possibile calcolare l'andamento ciclico dell'attività solare dal 1700 ad oggi, scoprendo l'esistenza di svariati cicli di attività solare il cui più evidente è quello di 11,04 anni.

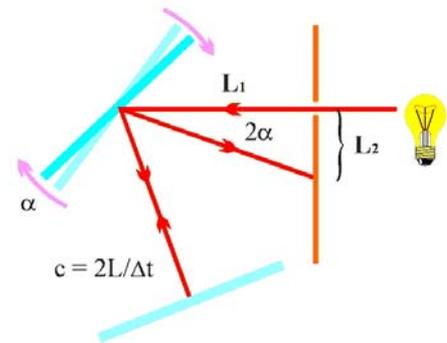
Richard Christopher Carrington (1826-1875) astronomo dilettante inglese, ricavò la *legge di rotazione differenziale del Sole* e definì la "migrazione" delle macchie verso l'equatore nel corso del ciclo. La migrazione in latitudine è stata scoperta disponendo tutte le macchie osservate in un grafico a forma di farfalla.

Il 1° settembre 1859 Carrington osservò una nuova classe di fenomeni solari: i *brillamenti*. Egli vide come un lampo che saettava tra due macchie con una durata di cinque minuti, poco dopo avvenne una tempesta magnetica, gli aghi delle bussole impazzirono e apparve il giorno dopo un'aurora boreale. Questo fenomeno si ripete tutte le volte che sul Sole avviene un brillamento.

Edward Walter Maunder (1851-1928) astronomo inglese, spese la propria vita nello studio delle macchie solari. Dopo un'accurata analisi di documenti storici giunse alla conclusione che nel periodo tra il 1640 e il 1700, l'attività delle macchie si era tenuta a bassissimi livelli. Come strana coincidenza in quel periodo vi furono inverni rigidi, tanto da definire quell'era come "piccola era glaciale" o "*minimo di Maunder*". Questo minimo assieme ad altri individuati da alcuni astronomi, induce a pensare che l'attività delle macchie solari sia strettamente collegata alle modificazioni climatiche in atto sulla Terra e che quindi esse siano collegate ai cicli solari.

Il pendolo di Foucault

Jean Bernard Léon Foucault (1819-1868) è considerato il miglior talento sperimentale della Francia; dipendente di Le Verrier, realizzò una serie di scoperte ed esperimenti nel campo della fisica e dell'astronomia strumentale. Egli si occupò della *misura della velocità della luce sulla terra* con un metodo diverso dalle tradizionali misurazioni dei transiti dei satelliti di Giove. Sfruttando un semplice macchinario composto da uno specchio piano ruotante ad altissima velocità e uno convesso, riuscì a calcolare la velocità della luce sfruttando lo scostamento del raggio riflettente sui due specchi. In pratica da una sorgente S viene lanciato un fascio luminoso, il quale riflette sullo specchio piano e successivamente su quello concavo, da quello concavo il fascio torna indietro e riflette la luce nuovamente sullo specchio piano che nel frattempo ha eseguito una rotazione. Sapendo la velocità di rotazione dello specchio e annotando lo scostamento inevitabile del raggio riflesso si può conoscere la velocità della luce. Con questo metodo infatti egli confrontò la velocità della luce sul vuoto, sull'aria e attraverso vari materiali, riscontrando una velocità diversa.



Misura della luce col metodo di Foucault

Nella costruzione dei telescopi, Foucault sostituì i vecchi specchi dei telescopi in metallo con del vetro ricoperto di argento. In questo modo si evitava la continua pulizia delle ottiche che tendevano ad ossidarsi facilmente. Inoltre per controllare lo stato di lavorazione delle ottiche inventò un metodo ancora oggi in uso, noto come *test di Foucault*; tramite una lama affilata e una sorgente puntiforme è possibile osservare la lavorazione della superficie dell'obiettivo.

Creò inoltre un telescopio classico con un prisma a riflessione totale. Tuttavia la fama del suo nome è legata alla famosa esperienza col pendolo; notò infatti che i tracciati di un pendolo sufficientemente lungo sono in grado di mettere in evidenza il moto di rotazione della Terra. L'esperienza fu ripetuta più volte presso il Pantheon di Parigi anche alla visione del pubblico.

La movimentata scoperta di Nettuno

Il 23 settembre del 1846 si ebbe la *scoperta di Nettuno*. Le vicende legate appunto alla sua scoperta sono lunghe e intrecciate: nel 1821 un collaboratore di Laplace, **Alexis Bouvard** (1767-1843) pubblicò degli effemeridi di Urano, ma nell'introduzione al libro fece notare che vi erano delle discrepanze di posizione del pianeta, egli pensò subito all'idea di un *corpo perturbatore*. Nel

1823 Bessel iniziò una serie di osservazioni alla ricerca del pianeta, confrontando i dati di Bouvard, senza però ottenere risultati. **George Biddell Airy** (1801-1892) astronomo e ottico, nominato direttore dell'Osservatorio di Cambridge, rilevò anch'egli queste discrepanze tra calcoli e osservazione, presentando un rapporto ufficiale. Successivamente quando coprì la carica di direttore dell'Osservatorio di Greenwich, un astronomo dilettante gli scrisse una lettera e gli fece notare che le perturbazioni potevano essere dovute alla presenza di un pianeta perturbatore. Ma Airy ebbe una reazione negativa.

Nel 1837 Eugene Bouvard nipote di Alexis, notando le perturbazioni di Urano, scrisse anch'egli ad Airy, ma per la seconda volta questi non prestò interesse all'idea. Per Airy fu un grave errore, perché pur essendo un importante astronomo in Inghilterra sfumò la possibilità di scoprire il nuovo pianeta. **John Couch Adams** (1819-1892) decise quindi di dedicarsi al problema. Dopo pochi mesi di lavoro concluse che le perturbazioni erano causate da un pianeta, dopo due anni di analisi delle osservazioni indicò in quale posizione potesse trovarsi il nuovo corpo. Anche **Urbain Jean Joseph Le Verrier** (1811-1877) fece gli stessi studi, egli era un'importante personalità in Francia, il quale fece lavori di ricerca chimica con Guy-Lussac per poi divenire membro dell'accademia delle Scienze di Parigi, ove arrivò a coprire anche la carica di direttore dell'Osservatorio di Parigi. Quando anche Le Verrier espose i risultati dei suoi studi, Airy finalmente si mosse. Avendo a Greenwich un'inadeguata strumentazione, sollecitò **Challis** dell'Osservatorio di Cambridge a cercare il pianeta. Challis però cominciò la ricerca con poco entusiasmo non riuscendo difatti a trovare nulla. Nel frattempo Le Verrier sollecitò i colleghi francesi alla ricerca, ma non avendo avuto grandi consensi si rivolse successivamente presso l'Osservatorio di Berlino a **Johann Gottfried Galle** (1812-1910), quando il direttore era **Johann Franz Encke** (1791-1865). Galle aiutato da uno studente entusiasta della ricerca sin dalla prima notte d'osservazione, individuaronò il nuovo pianeta dopo ben 25 anni di tentativi; tra l'altro Challis a Cambridge, si accorse troppo tardi d'aver scoperto precedentemente il pianeta denominato poi Nettuno, lasciandosi battere nel tempo per sua colpa. La scoperta fu il trionfo della meccanica celeste e dei calcoli matematici.

Lo spettro degli elementi chimici

Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899) chimico e fisico tedesco, dopo aver creato una *pila elettrica a mediante acido nitrico*, si dedicò ad una serie di esperimenti sull'azione chimica della luce sfruttando l'altra sua celebre invenzione, il *becco Bunsen*: un bruciatore a gas regolabile. Egli cercò di identificare le sostanze chimiche mediante la colorazione della fiamma posta a contatto con

le sostanze. Dapprima provò a identificare i tenui colori con dei filtri colorati, senza però ottenere una misura precisa; successivamente l'amico **Gustav Robert Kirchhoff** (1824-1887) famoso per aver formulato *due principi della termodinamica* ed aver successivamente enunciato *le leggi di corpo nero*, suggerì l'idea di osservare la fiamma attraverso uno *spettroscopio*²⁹. L'idea era talmente valida che entrambi si misero a studiarne gli effetti con le diverse sostanze, scoprendo la correlazione tra sostanze e righe di Fraunhofer. A riprova del reale collegamento tra spettro ed elemento chimico, effettuarono altri esperimenti invertendo la condizione, notando come le stesse righe venissero prodotte in emissione o in assorbimento, in base alle condizioni del materiale. Kirchhoff infatti porta il nome della famosa legge che enuncia: “*Un gas assorbe quelle stesse radiazioni che è capace di emettere*”. Usando una scala graduata, iniziarono a misurare le posizioni delle righe individuando lo spettro delle comuni sostanze chimiche, scoprendo anche una nuova sostanza chimica il *Cesio*. Kirchhoff tra l'altro usò lo spettrografo col Sole, riscontrando la presenza di molte sostanze chimiche, confermando così la validità della loro scoperta. In questo modo oltre ad aver aperto la strada alla spettroscopia stellare e quindi al legame temperatura e spettro, risolsero il dilemma lanciato dal filosofo Comte alcuni anni prima: determinare la composizione chimica del Sole.

I primi passi della spettroscopia

Padre Angelo Secchi (1818-1878) entrò nell'ordine dei Gesuiti studiando matematica e fisica. Egli proseguì l'opera appena avviata da Kirchhoff di classificare le stelle in base al loro spettro. Egli infatti era convinto che su grande scala le stelle presentassero una logica suddivisione. Sfruttando uno spettrografo, Secchi distinse le stelle in quattro categorie:

Tipo I: *stelle bianche come Sirio, Vega e Altair;*

Tipo II: *stelle gialle simili al Sole come Capella e Polluce;*

Tipo III: *stelle rosse come Betelgeuse e Mira Ceti;*

Tipo IV: *stelle rosse ma con molte righe d'assorbimento, difficili da osservare ad occhio nudo.*

La divisione spettrale divenne ancor più importante quando si scoprì il legame con la temperatura superficiale, egli così compilò il *primo catalogo spettrale* della storia dell'astronomia.

²⁹ **Spettroscopio:** strumento ottico usato per scomporre la luce e osservarne lo spettro. Esistono due tipi di spettroscopio, il primo costituito da un prisma e un cannocchiale; un fascio di luce tramite un collimatore attraversa un prisma che dopo aver passato una fenditura scompone il raggio nei suoi colori originari. Il secondo tipo di spettroscopio consente d'avere un'immagine più dettagliata dello spettro, esso è ottenuto grazie a un reticolo di diffrazione costituito da linee incise, in questo modo la luce viene scomposta come in un prisma.

Secchi si occupò anche di altri aspetti dell'astronomia, eseguì numerose *osservazioni della cromosfera solare*, descrivendola come una prateria infuocata. Fu l'organizzatore della prima spedizione italiana in India per osservare il transito di Venere sul disco solare nel 1874, si occupò di *misure di stelle doppie, di osservazioni solari, di comete e di pianeti*. Fu tra i primi a valersi della fotografia per usi astronomici, partecipò alla fondazione del *primo periodico italiano di astrofisica*.

Christian Doppler (1803-1853) nel 1842 scoprì in acustica il famoso effetto che porta il suo nome. *L'effetto Doppler* consiste nella modificazione della frequenza del suono o di onde elettromagnetiche quando la sorgente sonora si muove rispetto l'osservatore. Da questa scoperta, Doppler suppose che la medesima applicazione valeva per la luce e quindi per lo spettro delle stelle che avrebbero dovuto presentare una variazione cromatica.

Le sue deduzioni rimasero tali ben oltre la sua morte, perché non poterono essere subito confermate, data l'elusività del fenomeno. Furono le future osservazioni a dare conferma del fenomeno e a consentire una vasta applicazione pratica.

Sir William Huggins (1824-1910) astrofisico inglese, dopo aver letto il rapporto di Kirchhoff sull'identificazione degli elementi chimici tramite lo spettro, decise di compiere ricerche in questo campo. Usando appunto uno spettrografo, iniziò la sua ricerca su altri oggetti del cielo: *sulle comete individuò la presenza di idrocarburi gassosi*, misurò anche l'effetto Doppler (forse fu il primo ad osservarlo) su Sirio riscontrandone la velocità di allontanamento, riprovando anche su altre stelle. Nel 1866 puntò il suo strumento su una nova nella Corona Boreale, accorgendosi di una immane eruzione di idrogeno e altri gas. In questo modo avviò lo studio sui meccanismi delle nove in quanto si pensava ancora fossero delle stelle nuove, o oggetti in rapido movimento.

Sul Sole scoprì che era possibile ottenere immagini monocromatiche delle protuberanze anche senza eclisse, aprendo una fenditura nello spettrografo, questa tecnica precede quella successivamente in uso nella riga H α dell'idrogeno. Infine sulle nebulose osservò la presenza di un unico gas; vide infatti che non appariva la solita sequenza dello spettro ma un'unica sequenza monocromatica associata ad un elemento sconosciuto, chiamato inizialmente "*nebulio*". La sostanza che Huggins scoprì non era altro che O III, *ossigeno tre volte ionizzato*.

Sir Joseph Norman Lockyer (1836-1920) fu il *primo ad osservare lo spettro di una macchia solare*. Fu anche il promotore del nome di cromosfera per la regione solare dove si formano le protuberanze. Scoprì che sul Sole apparivano le righe di un elemento sconosciuto, chiamato poi *elio*. La sua fu una scoperta fondamentale per l'astronomia, poiché l'elio è una sostanza chiave nel processo evolutivo delle stelle.

Nel 1890 durante un viaggio in Grecia, osservò *l'orientamento dei templi greci con gli assi allineati sulla direzione del sorgere e tramontare del sole*. Suppose così che anche i templi egizi

potavano avere degli orientamenti. Intraprese così lo studio di alcuni monumenti riscontrando che sette templi egizi sono orientati verso il sorgere di Sirio. Le scoperte di Lockyer furono subito apprezzate, tanto che trovò poi l'orientamento del tempio di *Ammon-Ra* a Karnak e successivamente estese le sue ricerche a *Stonehenge*, riuscendo a stabilire la data della loro fondazione.

L'avvento della fotografia

L'invenzione che rivoluzionò completamente l'astronomia fu la fotografia, dapprima chiamato dagherrotipo. Il merito della scoperta è di **Louis Daguerre** (1787-1851) che a seguito di studi sugli effetti chimici della luce sfruttò la proprietà degli alogenuri d'argento di decomporsi se esposti alla luce. Egli poneva una lastra d'argento sul piano focale della lente, vi faceva depositare vapori di iodio che si combinavano col metallo, poi apriva l'otturatore. A questo punto sviluppava l'immagine con del mercurio. Il processo era però ancora poco sensibile e impreciso. Tuttavia nel 1840 **John Draper** (1811-1882) chimico americano, ottenne il *primo dagherrotipo della superficie lunare*, subito dopo iniziarono le prove su altri soggetti: nel 1842 Majocchi riprese un *eclisse solare*, lo stesso Draper riprese un anno dopo lo spettro solare e il Sole.

I successivi miglioramenti del procedimento fotografico, nonché l'uso di altri elementi chimici fotosensibili come l'avvento della lastra secca, consentirono un aumento della sensibilità delle pellicole e conseguentemente l'applicazione delle foto anche a soggetti astronomici più deboli. Nel 1880 fu eseguita la *prima foto della nebulosa di Orione*, nel 1882 fu ripresa una *cometa* con tutta la coda. Da quel momento infatti l'applicazione della fotografia avrà ampia diffusione in tutti i settori dell'astronomia, consentendo una semplificazione del lavoro degli astronomi, non più costretti a misure e controlli all'oculare. Sorsero così i primi *cataloghi fotografici del cielo* e una maggior precisione delle misure in astrometria, nella spettroscopia ecc.

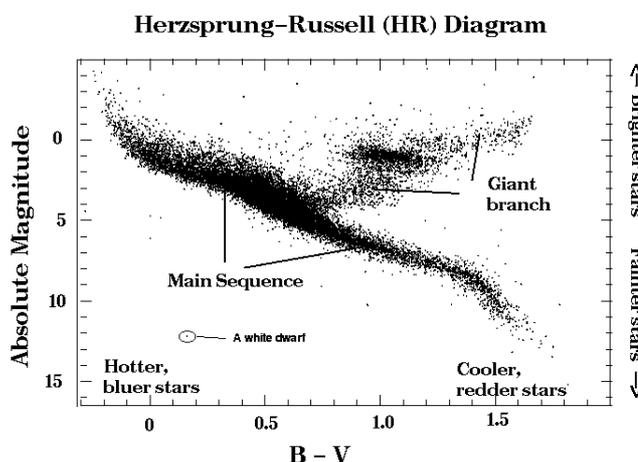
IL NOVECENTO

Il meccanismo delle stelle

Sin dalla sua scoperta, la spettroscopia fece fare un grosso balzo in avanti all'astrofisica. Dalle righe di Fraunhofer si giunse ad una determinazione più precisa non solo delle sostanze

costituenti le stelle, ma grazie anche alle ricerche di Secchi, si individuarono le diverse classi spettrali successivamente perfezionate in altre classi sottoclassi.

Un valido lavoro semplificativo fu portato avanti separatamente da **Ejnar Hertzsprung** (1873-1967) e da **Henry Norris Russell** (1877-1957). Hertzsprung scoprì una teoria classificatoria delle stelle di uno stesso tipo spettrale secondo la loro luminosità, la temperatura e la massa. L'intuizione matematica sfocerà poi in un diagramma sviluppato parallelamente da Russell dove si rappresentano le tipologie di stelle secondo uno schema logico e secondo classi di stelle:



dalle nane alle stelle giganti, e così via. Ognuna di queste classi presenta delle caratteristiche che individuano il comportamento.

Tuttavia seppur il *diagramma Hertzsprung-Russell* chiariva le tipologie e i comportamenti delle stelle, restava ancora da capire quale fosse il meccanismo evolutivo e la dinamica interna delle stelle.

Sir Arthur Stanley Eddington (1882-1944) sin dall'inizio si interessò *dell'equilibrio interno delle stelle e dei connessi meccanismi*. Egli applicò la legge dei gas perfetti alle stelle, riuscendo a calcolare la luminosità di una stella qualora fossero noti la massa e il raggio. Successivamente si occupò del *meccanismo delle Cefeidi* scoperte da **Henriette Swan Leavitt** (1868-1921). Eddington intuì che alle variazioni di luminosità erano associate variazioni di raggio della stella.

I suoi studi sull'equilibrio delle stelle descrivevano il modello stellare come un equilibrio di forze, quella gravitazionale e quella raggiante, il loro variare determinava una variazione dei meccanismi interni della stella. Eddington tra l'altro intuì che il "motore" delle stelle era legato a una qualche forma di radioattività che agiva rompendo i nuclei degli elementi secondo qualche reazione sub-atomica. Nel 1920 infatti considerò l'idrogeno quale responsabile di reazioni nucleari innescate dalle pressioni e temperature interne delle stelle; a quelle condizioni il processo di rottura dei nuclei tende ad autoalimentarsi innescando delle reazioni esotermiche.

Si interessò anche di cosmologia e delle nuove teorie di Einstein sulla relatività. Nel 1919 verificò sperimentalmente durante un'eclisse solare che la luce, come la materia, è soggetta alla forza di gravitazione.

Il lavoro di Eddington è da considerarsi fondamentale, poiché consentì l'unificazione in un'unica legge del meccanismo interno delle stelle, nonché diede un valido supporto alla teoria della relatività.

Subrahmanyan Chandrasekhar (1910-1995) astrofisico indiano si interessò della *struttura delle stelle*, delle *nane bianche*, dei *sistemi dinamici di stelle*, e della relatività generale, acquistando notorietà per le ricerche sulla polarizzazione della luce e le connesse ipotesi cosmologiche. Egli chiarì la *struttura fisica delle nane bianche* agli inizi degli anni '30. Scopri infatti che il collasso di una stella come il Sole, una volta esaurite le sue fonti di energia nucleare, viene arrestato dalla pressione di un gas degenerato di elettroni; questo gas può sopportare la massa sovrastante soltanto se essa è inferiore a 1,44 volte la massa del Sole, il cosiddetto "*limite di Chandrasekhar*".

La nascita della cosmologia e l'espansione dell'Universo

Lo scienziato che ha rivoluzionato il comune modo d'intendere la materia e l'universo è stato senza dubbio **Albert Einstein** (1879-1955). Nel 1905 pubblicò la sua "*Teoria della relatività ristretta*" che avrebbe sconvolto le basi della fisica classica. In essa ad esempio, si enunciava che il tempo non è da considerarsi un concetto assoluto, ma relativo, in quanto esso varia in base alla velocità dell'osservatore. Nella relatività ristretta si trova anche la famosa formula $E=mc^2$, e la spiegazione dell'emissioni luminose in quanti di energia chiamati successivamente fotoni; in questo modo fu anche possibile spiegare l'effetto fotoelettrico, la cui interpretazione è impossibile con la fisica classica.

Nel 1916 espose in forma definitiva la sua "*Teoria della relatività generale*" in cui esponeva la teoria secondo la quale la gravità di un corpo è in grado di modificare le proprietà dello spazio fisico, ipotizzando così la curvatura dello spazio-tempo. La validità delle sue affermazioni teoriche fu confermata sperimentalmente grazie alle misure della rotazione dell'orientamento dell'orbita di Mercurio, dal fenomeno di *redshift* delle stelle, e infine dalla curvatura dei raggi luminosi nei campi gravitazionali. Nel 1919 infatti Eddington verificò la veridicità delle teorie di Einstein osservando durante un'eclisse di sole la posizione delle stelle visibili e confrontando successivamente che nella stessa regione di cielo, in assenza del sole, la luce delle stelle appare leggermente spostata: era la prova che la luce era stata deviata dal campo gravitazionale della nostra stella, dunque Einstein aveva ragione: l'universo non è euclideo (ossia piatto), ma deve essere spiegato secondo piani curvi.

Nel 1950 pubblicò *un'appendice alla sua teoria della relatività* dove spiegava lo spazio quadridimensionale e l'idea di un universo come entità finita in espansione. Successivamente nel

1953 pubblicò una seconda appendice in cui esponeva i principi di una “*Teoria del campo unificato*” mediante la quale si mette in relazione la gravitazione e l’elettromagnetismo, il che ricondurrebbe ad un’unica teoria i fenomeni fisici macroscopici. Tale idea adesso prende il nome di “*Teoria del tutto*” in cui si ipotizza l’unione di tutte le forze fisiche in un’unica teoria.

Quando le nuove teorie di Einstein non erano state ancora del tutto accettate, alcuni scienziati cominciarono comunque ad interessarsi al nuovo modello di Universo. **Willem De Sitter** (1872-1934) dimostrò che era possibile dedurre dalla teoria della relatività un modello di *Universo in espansione*. Successivamente **Aleksandr Aleksandrovich Friedmann** (1888-1925) matematico russo, dedusse dalla Relatività modelli di universo in *espansione o in contrazione*. Nel 1927 il belga **Georges Edouard Lemaitre** (1894-1966) formulò il famoso modello indicato come “*big bang*”, chiamato per dispregio da Hoyle nel 1950, che come vedremo aveva proposto un modello alternativo.

Nel 1929 l’astronomo statunitense **Edwin Powell Hubble** (1889-1953) osservò uno *spostamento dello spettro delle galassie verso il rosso*. Questo spostamento detto anche redshift poteva essere spiegato solamente come un effetto dell’allontanamento delle galassie le une alle altre. Riportando su di un diagramma la velocità di allontanamento delle galassie e la distanza, notò che il grafico aveva un andamento lineare, il che significava che all’aumentare della distanza la velocità delle galassie aumentava. Ma non solo, l’osservazione di oggetti distanti riporterebbe la visione dell’Universo come era nel passato. Egli quindi introdusse una famosa *costante di Hubble* che lega questa importante relazione.

Hubble è anche famoso per aver scoperto nel 1924 che la “nebulosa” di Andromeda è una galassia esterna alla nostra, grazie alla presenza di stelle Cefeidi indicatrici della distanza, nonché fu il primo a creare una *classificazione delle galassie in base alla loro forma*, suggerendo la possibile evoluzione.

La nostra galassia e le galassie

Wilhelm Heinrich Walter Baade (1893-1960) astronomo tedesco naturalizzato statunitense, fu tra i primi utilizzatori del telescopio del Monte Palomar. Impiegando lastre fotografiche particolari, riuscì a risolvere in stelle l’apparente nebulosità di alcune galassie, in particolare quella di Andromeda.

Nel 1944 sfruttando l’oscuramento di Los Angeles a causa della guerra riuscì a sfruttare al massimo le potenzialità dello strumento scoprendo in Andromeda due popolazioni stellari che chiamò *Popolazione I* e *Popolazione II*. La prima è costituita da gas, polveri e stelle giovani che si

trovano nei bracci a spirale, mentre la popolazione II è formata da stelle vecchie poste nella parte centrale. Nelle foto a colori esse si distinguono per il diverso colore; di solito per il colore blu della popolazione I e rossastro della popolazione II. Baade inoltre mise in evidenza che le giovani stelle supergiganti di tipo OB si trovano in genere immerse o nelle vicinanze a banchi di materia diffusa, da ciò giunse alla conclusione che le nebulose sono il luogo di nascita delle nuove stelle.

Nel 1952 dimostrò che tutte le determinazioni di distanze galattiche effettuate con Cefeidi erano notevolmente sbagliate, in quanto scoprì l'esistenza di un altro gruppo di *Cefeidi dette RR Lyrae*, con caratteristiche simili alle classiche Cefeidi ma con una relazione periodo-luminosità diversa; sicché le considerazioni di Baade portarono ad una profonda revisione delle distanze, costringendo in alcuni casi a raddoppiare il fattore distanza di galassie, aumentando così le dimensioni conosciute dell'Universo. Assieme a Zwicky ipotizzò inoltre l'esistenza delle *stelle di neutroni*.

Fritz Zwicky (1898-1974) astronomo e fisico svizzero naturalizzato statunitense, fu un valido rivale di Hubble. Utilizzando il telescopio del Monte Palomar scoprì un gran numero di *galassie compatte*, costituite dal solo nucleo. Studiò inoltre gli ammassi di galassie, pubblicando un *catalogo con più di 30.000 galassie*: il catalogo ancora oggi è considerato un fondamentale riferimento in questo campo. Dallo studio approfondito della loro distribuzione notò la tendenza delle galassie ad unirsi in "superammassi".

Negli anni ottanta, con lo sviluppo delle tecniche di rivelazione divennero possibili rilevazioni più precise e complete, ottenendo mappe tridimensionali delle galassie a grande scala, riscontrando l'esistenza di enormi strutture di galassie che a sua volta creano delle "bolle" o vuoti privi di galassie.

Ma i veri risultati nell'osservazione del cielo profondo si hanno grazie alla collaborazione con **Bernhardt Voldemar Schmidt** (1879-1935) ottico e astrofilo tedesco che inventò l'omonima combinazione ottica. Egli ebbe l'idea di correggere l'aberrazione sferica degli specchi con una lente posta al centro di curvatura, riuscendo in tal modo ad ottenere un campo corretto di oltre 5 o 6 gradi. Inoltre rispetto i comuni riflettori lo Schmidt consentiva un grande campo e una notevole luminosità, tanto da ottenere delle foto con tempi bassi. Dopo l'approvazione di Zwicky fu costruito il primo telescopio Schmidt per il Palomar. Col nuovo strumento si ottennero delle foto eccezionali, in grado di rivaleggiare con le lastre del 100 pollici di Hubble al Monte Wilson, risolvendo molti più dettagli di quanti finora erano stati ottenuti.

Già dal 1933 Zwicky ipotizzò la possibile esistenza della *materia oscura*, osservando le interazioni gravitazionali di alcune galassie, notò che la materia visibile era insufficiente per tenerle unite, valutandone una quantità venti volte superiore.

Solo verso la fine degli anni settanta gli astronomi gli diedero ragione, rendendosi conto che almeno il 90% della massa dell'Universo è invisibile.

Dal 1934 dopo la scoperta in laboratori terrestri dell'esistenza dei neutroni, Zwicky assieme a Baade ipotizzò che le esplosioni di supernovae avrebbero potuto lasciare come residuo un nucleo consistente di neutroni, una stella di neutroni. Per più di trent'anni la loro esistenza è stata considerata una pura speculazione teorica, poi però nel 1967 **Jocelyn Bell** e **Anthony Hewish**, radioastronomi di Cambridge rilevarono dei segnali radio pulsanti provenienti da una direzione fissa nello spazio. A seguito di successive osservazioni si scoprì che le pulsazioni della durata di circa 2 centesimi di secondo si ripetevano con intervalli costanti di circa 1 secondo. Dapprima l'emissione fu attribuita ad ipotetiche comunicazioni extraterrestri, poi si comprese che ad emettere fasci di onde radio era una Pulsar, una stella allo stadio finale della propria evoluzione. La sua struttura infatti subisce una contrazione, divenendo una stella di neutroni molto piccola, la quale ruota rapidamente emettendo come un faro radio, dei fasci di emissioni regolari. La casuale scoperta della prima pulsar diede conferma osservativa della loro esistenza.

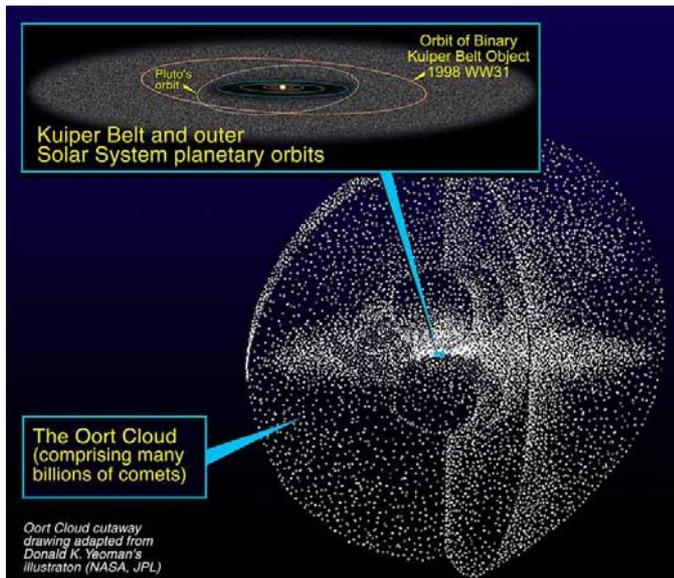
John Hendrik Oort (1900-1992) astronomo olandese, fu un grande studioso della nostra Galassia, egli dimostrò che essa ruota intorno al proprio centro con un moto decrescente dal centro verso la periferia. In accordo con **Harlow Shapley** (1885-1972) trovò il *centro galattico nella direzione del Sagittario* a 30.000 anni-luce. Dal periodo di rotazione del Sole in uno dei bracci galattici (200 milioni di anni) e dalla distanza del Sole dal centro, dedusse che la massa della Via Lattea è di circa 10^{11} masse solari.

Nel 1926 ricavò una formula, nota in seguito come "*1^a formula di Oort*", con la quale data la distanza dal Sole e la longitudine galattica di una stella, si può ottenere la velocità radiale in Km/s. La seconda formula riguarda invece i moti propri dei corpi causati dalla rotazione differenziata all'interno della Galassia. L'applicazione più importante della prima formula è la possibilità di ottenere la distanza della stella avendo noti la velocità radiale e la longitudine.

Nel 1941 Oort suggerì ad un suo studente di indagare teoricamente sulla capacità degli atomi di emettere righe spettrali definite a frequenza. Egli pensava che se si fosse scoperta una riga di frequenza precisa, si sarebbero potute ottenere informazioni precise sulla sorgente: infatti dall'effetto Doppler si può conoscere la cinematica dell'oggetto, dall'intensità della riga lo stato fisico della sorgente come pressione, densità e temperatura ecc. Nel 1944 Van de Hulst H. comunicò la convinzione che l'atomo di idrogeno poteva assorbire o emettere energia a una lunghezza d'onda di 21 cm. Poco dopo anche il fisico Shlowskii giungeva alla stessa convinzione. Con questa scoperta iniziò uno studio tramite un potente radiotelescopio di 7,5 m di diametro abbandonato dai tedeschi durante l'ultima guerra. In 20 anni di servizio lo strumento ha contribuito

alla conoscenza della struttura a bracci della galassia, dei fenomeni esplosivi della regione del nucleo e delle nubi di idrogeno del disco galattico. Ad oggi il modello di rotazione delle galassie presuppone una rotazione rigidamente unita al centro e con velocità decrescenti nei bracci, come aveva ipotizzato Oort.

Nel 1968 suggerì che le nebulose come quella del Granchio potessero essere residui dell'esplosione di supernovae. I gas diverrebbero luminosi perché eccitati dalla violenta onda d'urto



avanzante per centinaia di chilometri al secondo. Diversamente dalle nebulose planetarie, la luminescenza dei residui nebulari di supernovae antichissime non è dovuta all'eccitazione da parte di una stella centrale.

Il suo nome tuttavia è anche legato alla *nube di Oort*, una nube ipotizzata dallo scienziato per spiegare l'origine delle comete a lungo periodo, supposta tra 50.000 e le 100.000 UA, ossia sino a 2,5 anni-luce. Le

perturbazioni planetarie, l'influenza residua del Sole e il possibile passaggio di corpi celesti, avrebbero influenza sulla nube consentendo il distacco di nuclei cometari che modificherebbero la loro orbita avvicinandosi al Sole. La nube di Oort è differente dalla fascia di Kuiper, soprattutto per l'ordine di distanze e per in fatto d'essere ipotizzata come una nube avvolgente esternamente l'intero sistema solare.

I canali di Marte e la scoperta di Plutone

Un importante astronomo dell'800, che dedicò la sua vita alle osservazioni planetarie, fu **Giovanni Virginio Schiaparelli** (1835-1910). Egli approfondì le conoscenze astronomiche a Berlino con Encke e poi a Pulkovo in Russia, diventando un astronomo affermato. Nel 1862 a 27 anni divenne direttore dell'Osservatorio di Brera a Milano. Un anno prima scoprì il pianetino *Esperia*, nel 1866 scrisse una serie di lettere a Padre Secchi su alcuni sciami di meteore, affermando che essi provenivano dai resti del passaggio di comete, affermazione supportata da calcoli. Nel 1877 durante un'opposizione favorevole di Marte, studiò la superficie del pianeta scoprendo i "*canali*" di Marte, facendo sorgere il famoso mito della possibilità di vita sul pianeta. Dapprima con un 22 cm, poi con un 49 cm, studiò anche *Venere* e *Mercurio*, *calcolando i tempi di rotazione*.

Percivall Lowell (1855-1916) astronomo statunitense figlio di una famiglia di industriali, si occupò fin da giovane di astronomia. Dopo aver viaggiato per tutta l'America trovare il miglior sito astronomico, *fondò e finanziò la costruzione di un grande osservatorio in Arizona* a Flagstaff. Quando venne a conoscenza delle osservazioni di Schiaparelli, pensò alla possibilità di *vita su Marte* e alimentò l'idea che i canali fossero artificiali. Ma oltre questo, Lowell fu uno di quegli astronomi che credeva nella possibilità che *oltre Nettuno vi fosse un pianeta*; l'idea in realtà, era sorta già dalla metà dell'800. Egli invogliò i ricercatori del suo osservatorio a cercare il pianeta elargendo dei fondi per incrementare le ricerche. Nel 1930 però dallo stesso osservatorio di Lowell, un giovane astrofisico **Clyde Tombaugh**, usando lastre fotografiche, scoprì casualmente il nono pianeta, chiamato poi *Plutone*.

Edward Emerson Barnard (1857-1923) astronomo statunitense, dopo aver scoperto alcune comete utilizzando strumenti da dilettante, venne chiamato all'osservatorio Lick, legando la sua fama iniziale alla scoperta del satellite gioviano *Amaltea* nel 1892, occultando la luce di Giove con un diaframma.

Barnard entrò in contrasto con Lowell, che affermava la presenza di marziani su Marte, i quali avrebbero costruito dei canali per contrastare il clima arido. Egli invece osservando con strumenti superiori a quelli di Lowell e Schiaparelli, non osservò mai i famosi canali, semmai strutture spezzate, quindi di origine naturale. Inoltre dagli studi effettuati ebbe indicazione di basse pressioni superficiali e scarsità di vapore acqueo, condizioni incompatibili con la presenza di acqua liquida.

Eseguendo fotografie a grande campo della volta celeste, notò lungo la Via Lattea la presenza di vuoti di stelle che tolsero ogni dubbio sull'esistenza di *nubi cosmiche oscure*. Pubblicò anche un atlante di foto, divenuto talmente famoso da introdurre poi la lettera B, seguita dal numero in elenco, per indicare le nebulose oscure.

Il nome di Barnard tuttavia è sicuramente legato alla scoperta di una "*stella veloce*" nella costellazione di Ofioco, conosciuta col suo nome perché il suo moto proprio è il più alto tra quelli conosciuti, ammontando a 10,3" d'arco l'anno.

Eugenios Antoniadi (1870-1944) astronomo turco ma naturalizzato francese, fu un grande osservatore di pianeti. Dopo le osservazioni di Schiaparelli, si era diffusa la convinzione dell'esistenza dei marziani, Antoniadi era uno dei tanti astronomi in disaccordo con tali convinzioni, e mai nelle sue osservazioni vide i canali. Nel corso delle grandi opposizioni le osservazioni ottenute, dettero indicazioni di una bassa pressione superficiale e scarsità di vapore acqueo, come affermava anche Barnard. Antoniadi ci ha lasciato *mappe precise di Marte e Mercurio*.

Il 1900 ricorda **Gerard Pieter Kuiper** (1905-1973) astronomo statunitense di origine olandese. Kuiper e Humanson si dedicarono *all'osservazione di Plutone* con il 5 metri di Monte Palomar. In quel periodo infatti, si riscontrarono delle irregolarità sul moto del nuovo pianeta, irregolarità che prefigurarono la scoperta del satellite *Caronte*. Dallo stimolo di Kuiper furono fatte le prime ricerche con palloni sonda ed aerei, per oltrepassare l'atmosfera terrestre. Inoltre nel 1948 scoprì *Miranda*, un satellite di Urano e compì osservazioni spettrografiche all'infrarosso *dell'atmosfera di Marte* rivelando la presenza di *anidride carbonica*.

Per spiegare l'origine delle comete, Kuiper suppose la presenza di una fascia detta poi *fascia di Kuiper* oltre l'orbita di Nettuno, in cui risiedano nuclei cometari pronti a percorrere il sistema solare con orbita breve. Ma oltre questi studi, Kuiper formulò ipotesi aggiuntive sul processo di aggregazione dei pianeti relativo alla teoria Kant-Laplace sulla nascita del sistema solare.

L'avvento dell'astronautica

Nell'immediato dopoguerra le scoperte astronomiche subirono un cambiamento epocale grazie all'avvento dell'astronautica. La differenza sostanziale con il passato consisteva nella possibilità di scoprire i meccanismi e le proprietà dei pianeti, non più solo con l'osservazione da terra, ma con l'esplorazione diretta tramite sonde automatiche. La storia moderna dell'astronomia quindi, divenne anche la storia dell'evoluzione tecnica dell'astronautica e delle scoperte fatte dalle sonde spaziali.

Il primo passo verso lo spazio avvenne con il *primo satellite artificiale* messo in orbita nel 1957 ad opera dei sovietici, lo **Sputnik 1**. In quella che fu una "corsa" allo spazio, gli americani non furono da meno, nel 1958 il primo satellite americano messo in orbita fu l'**Explorer 1** che scoprì le *fasce di Van Allen*³⁰.

L'anno successivo i sovietici inviarono la *prima sonda diretta verso la Luna*, il **Lunik 1** che sfiorò il satellite a 6500 Km dalla superficie, un mese dopo il **Lunik 3** volò attorno al satellite fotografando per primo la *faccia nascosta della Luna* fino ad allora sconosciuta.

Nel 1962 il **Mariner 2** fu il primo satellite a sorvolare *Venere*, scoprendone la composizione dell'atmosfera, le elevate temperature e la notevole pressione superficiale. *Marte* invece, fu esplorato per primo nel 1965 dal **Mariner 4** che inviò sulla Terra le prime foto del pianeta, svelando una superficie arida e craterosa; fu questa missione a far crollare definitivamente la

³⁰ **Fasce di Van Allen:** il campo magnetico terrestre è bipolare e si comporta come una normale calamita; essendo tale, si creano delle forze magnetiche che circondano la Terra. Tali forze sono originate dalla presenza di un nucleo rotante liquido che si comporta come una gigantesca dinamo, che produce appunto un campo magnetico.

convinzione che su Marte vi abitassero creature aliene, scoprendo che i cosiddetti “canali di Marte” erano solo dei canyon naturali e non strutture artificiali.

Il 1969 fu il grande anno dello *sbarco dell'uomo sulla Luna* con l'**Apollo 11**, un evento importante per la storia dell'uomo, poiché segnò la più grande conquista tecnologica e scientifica. Le missioni Apollo consentirono di conoscere più a fondo il satellite, grazie anche ai campioni di roccia lunare riportati sulla Terra.

Le prime missioni interplanetarie

L'esplorazione del sistema solare compì un notevole balzo in avanti grazie alle sonde **Pioneer 10 e 11**. Dalla sua partenza nel 1972, il Pioneer 10 fu la prima sonda a sorvolare *Giove* fotografandone la superficie e la *macchia rossa*; la sonda inoltre svelò la natura gassosa del pianeta, dopo alcuni sorvoli ravvicinati del gigante gassoso, mutò rotta per uscire dal piano dell'eclittica. Il Pioneer 11 partito l'anno successivo sorvolò *Giove* scoprendone gli *anelli* e rilevando un intenso *campo magnetico*, su *Saturno* scoprì invece *tre sistemi di anello*.

Nel 1974 il **Mariner 10** che sorvolò *Mercurio* mostrando per la prima volta la sua *superficie*, scoprendo anche la presenza di una tenuissima atmosfera.

Nel 1975 le due sonde **Viking 1 e 2** compirono una storica missione su Marte, due Lander eseguirono misure e foto della superficie del pianeta, mentre due Orbiter effettuarono una mappatura completa del pianeta. Il successo della missione fu completo, anche perché dalle immagini furono confermati molti aspetti tipici del pianeta, come l'antica presenza di acqua e le variazioni stagionali.

Nel 1975 dopo diversi tentativi la sovietica **Venera 9** è la prima sonda ad atterrare sulla superficie di Venere inviando a Terra le incredibili immagini del pianeta.

L'ultima grande missione condotta verso il sistema solare fu quella delle sonde **Voyager 1 e 2**. Le sonde concepite con nuove tecnologie, partirono nel 1977 per compiere un viaggio lungo e difficoltoso; la buona risoluzione delle apparecchiature fotografiche e le nuove tecnologie adottate consentirono nuove scoperte. Sorvolando il sistema gioviano, osservarono su *Io* l'intensa attività vulcanica, su *Ganimede* fotografarono la superficie craterosa, mentre su *Europa* osservarono enormi distese di ghiacci superficiali scoprendo *3 nuove lune* gioviane mai osservate. Su *Saturno* il Voyager 2 osservò la superficie di *Titano* rilevando la componente principale dell'atmosfera cioè *l'azoto*, scoprendo altre *10 lune*. Anche su Urano la missione segnò notevoli scoperte, la sonda osservò per la prima volta in modo ravvicinato la superficie gassosa, scoprendo anche che il *campo magnetico* del pianeta è inclinato di quasi 59° rispetto l'asse di rotazione; osservò *due nuovi anelli*

del pianeta in aggiunta a quelli scoperti nel 1977 dalle sonde Pioneer e 10 lune mai viste prima. Su Nettuno osservò una notevole attività superficiale, osservando per la prima volta anche *la grande macchia scura*; furono scoperte 6 nuove lune e confermata l'esistenza di *archi di anello* attorno al pianeta.

I buchi neri

La prima ipotesi di buco nero la formulò nel 1796 Laplace, che ipotizzò la possibile esistenza di stelle talmente massive da rendere impossibile la fuoriuscita della luce da esse, e quindi di apparire visibili.

Quando fu introdotta la Relatività Generale, l'esistenza dei buchi neri ebbe un supporto teorico non indifferente. **Karl Schwarzschild** (1873-1916) infatti, sfruttando le basi teoriche della Relatività, postulò l'esistenza del "*raggio di Schwarzschild*" o "*orizzonte degli eventi*", una regione attorno ad un buco nero ove la luce non può sfuggire. Il raggio di questa regione dipende dalla massa del corpo e il suo valore è di 2,95 volte la massa del corpo stesso, espresso in masse solari.

Schwarzschild fu il primo ad introdurre il concetto di trasporto di calore in una stella per via radiativa, ossia tramite radiazione elettromagnetica; nonché ad ipotizzare un modello di atmosfera stellare basato sull'equilibrio radiativo e gravitazionale delle stelle.

Julius Robert Oppenheimer (1904-1967) fisico teorico americano, dimostrò nel 1939 come un corpo di grande massa, che abbia consumato il suo combustibile, possa collassare per formare un buco nero. La sua dimostrazione però restò confinata nella teoria fino al 1965, quando fu scoperto a 7000 anni-luce un possibile buco nero, *Cygnus x-1*: un oggetto troppo grande per essere una stella di neutroni e troppo piccolo per essere una stella comune.

Nel 1945 coordinò il *progetto Manhattan* per lo sviluppo della prima bomba atomica. Ma nel 1954 si rifiutò di partecipare alla costruzione della bomba all'idrogeno.

Stephen William Hawking (1942) fisico teorico inglese si interessa di interazione gravitazionale universale, cosmologia e teoria quantistica. Nel 1974 ha dimostrato che dal punto di vista termodinamico i buchi neri sono corpi neri, essi obbediscono alle leggi della termodinamica: posseggono una temperatura e un'entropia definite dal loro campo gravitazionale e dalla loro superficie. Sicché i buchi neri dovrebbero irradiare particelle con una temperatura e un'entropia definite, questa irradiazione però, può portare in un tempo finito *all'evaporazione completa del buco nero*, anche se ancora non è chiaro il possibile risultato finale dell'evaporazione. Ad oggi questa resta ancora una teoria da verificare.

Lo stato stazionario

Dopo il secondo conflitto mondiale, precisamente nel 1948, gli scienziati Hoyle, Gold e Bondi, indipendentemente proposero un modello di *universo stazionario*. Per non cadere in contraddizione con la legge di Hubble (dunque sull'evidenza di un universo in espansione), ipotizzarono un Universo in movimento, ma stazionario nella sua evoluzione, ossia immutabile nel tempo e uniforme. La sua densità quindi, invece di diminuire come nel modello in espansione, si manterrebbe costante grazie ad una continua creazione di materia dal nulla; in questo modo si avvalorerebbe il principio cosmologico perfetto, che ipotizza un Universo uniforme nella sua distribuzione e uguale nel tempo, ammettendo l'uguaglianza delle leggi fisiche in ogni luogo. Infatti il modello in espansione pone dei dubbi su tale ipotesi.

Fred Hoyle (1915) fervido sostenitore dello *stato stazionario* fu anche lo scienziato che suggerì l'idea che il "combustibile" nucleare delle stelle fosse l'elio, il quale avrebbe formato nel nucleo delle stelle svariati elementi, tra cui il carbonio, l'ossigeno e persino elementi pesanti come il ferro. Suppose anche che il Sole in origine fosse una stella doppia che esplodendo abbia dato origine ai pianeti. Introdusse inoltre il magnetismo quale elemento concorrente alla formazione del sistema solare nel processo meccanico di aggregazione, processo altrimenti poco credibile per semplice aggregazione gravitazionale.

Con il collega Wickramasinghe, Hoyle ha esaminato il problema della vita sulla Terra, ipotizzando una nascita esterna. Egli è convinto che i mattoni della vita provengano dalle comete (esse contengono diversi composti organici), nei loro viaggi fungerebbero da incubatrice per la formazione di batteri, ipotizzando addirittura che alcune infezioni virali provengano abbiano origine extraterrestre.

La radiazione di fondo

Nel 1948 presso la George Washington University, Alpher, Gamow e Herman, ipotizzarono che subito dopo il Big Bang, quando l'Universo aveva un'età stimabile in frazioni di secondo, doveva essersi prodotta una radiazione di fondo quale per effetto dell'espansione, con un valore di 3° K. **George Anthony Gamow** (1904-1968) inoltre ipotizzava che l'universo primordiale era estremamente caldo e che inoltre tali condizioni abbiano favorito la formazione di elio e del suo isotopo leggero, nonché una certa quantità di litio. La successiva espansione e quindi l'abbassamento delle temperature avrebbe poi "congelato" la composizione della materia primordiale. Il suo calcolo infatti sarà successivamente confermato dalle osservazioni.

Nel 1965 **Arno Allan Penzias** e **Robert Woodrow Wilson**, dei Bell Telephone Laboratories in New Jersey, mentre compivano ricerche su un disturbo continuo alle comunicazioni intercontinentali, scoprirono l'esistenza di una radiazione costante, priva di variazioni stagionali o di direzioni preferenziali. Casualmente dei ricercatori dell'università di Princeton seppero dei risultati di Penzias e Wilson, interpretando la scoperta come la prova dell'esistenza della radiazione di fondo. Successivamente si ebbe conferma che essa emetteva a 3° K: era la conferma dell'esistenza *della radiazione* che permea l'Universo, la cosiddetta eco del Big Bang.

La sconvolgente scoperta, ha quasi soppiantato la teoria dello stato stazionario, dando prova evidente dell'origine e dell'espansione dell'Universo. Per la scoperta Penzias e Wilson ricevettero il premio Nobel.

La teoria inflazionaria

Nel 1981 il fisico **Alan Guth** (1947) ipotizzò *la teoria dell'universo inflazionario*. A seguito di ricerche effettuate dai cosmologi, si è giunti a comprendere che non tutta la materia esercita un'attrazione gravitazionale, si pensa infatti che ad alte temperature e densità, esiste della materia che "antigravita". Con questo presupposto egli ha ipotizzato la possibilità che nelle prime frazioni di secondi di vita dell'universo, precisamente nell'intervallo tra i 10^{-35} e i 10^{-33} secondi dopo il Big Bang, l'influenza dell'antimateria abbia favorito un'espansione fortemente accelerata. In questo modo si potrebbe spiegare l'apparente omogeneità dell'Universo. Tale teoria necessita ancora di evidenze osservative che possano avvalorare la sua sostenibilità.

Le ultime imprese spaziali

Nel 1985 la sonda **Giotto** eseguì un passaggio ravvicinato con la *cometa di Halley* fotografando per la prima volta da vicino un nucleo cometario.

Nel 1989 la sonda **Magellan** svelò i misteri della *superficie di Venere* eseguendo una mappatura radar completa della superficie. Nello stesso anno partì anche la **Galileo**, con il compito di osservare *Giove* e i suoi satelliti. Il pieno successo della missione ha permesso la comprensione dei meccanismi dell'atmosfera gioviana e delle superfici dei satelliti. Clou della missione il "tuffo" di una sonda secondaria sulla superficie gassosa del pianeta.

Il 1990 è stato l'anno del **telescopio spaziale Hubble**, strumento fondamentale per l'osservazione del cielo ad altissima risoluzione. Superati i primi momenti critici, con la necessità di ovviare con una missione suppletiva i difetti di ottica dello strumento, il telescopio ha avuto ottime

prestazioni nei disparati campi dell'astronomia, da quella planetaria allo studio delle galassie, sino alle ricerche in astrofisica. Le scoperte dell'Hubble sono state molteplici, alcune hanno riguardato i pianeti, osservando l'evento della tragica fine della *cometa Shoemaker-Levy 9*; in campo cosmologico ha permesso di *scoprire l'attuale accelerazione in alcuni punti dell'Universo*, la presenza di *materia oscura* in molte regioni dello spazio, e una parziale conferma dell'esistenza di buchi neri nel centro delle galassie.

Nello stesso anno veniva lanciata anche la sonda **Ulysses**, con lo scopo di studiare i *poli del Sole*, e le loro emissioni magnetiche.

Il ritorno su *Marte* è stato segnato dalla missione **Pathfinder**, atterrata sul suolo marziano nel 1996 con a bordo un robot semovente.

L'anno successivo invece, è partita la missione **Cassini-Huygens**, con l'obiettivo di migliorare le conoscenze su *Saturno* e il suo sistema di anelli, il modulo Huygens invece atterrerà sulla luna *Titano* per osservare finalmente il suolo, celato da una densa atmosfera gassosa.

OGGI

Sedna, il 10° pianeta?

Nel 2003 è stato dato grande risalto alla scoperta agli estremi confini del sistema solare di un possibile decimo pianeta denominato *Sedna*. Grazie alle osservazioni del telescopio spaziale Spitzer lo si è individuato ad una distanza di 10 milioni di chilometri, nella fascia Edgeworth-Kuiper, ed un diametro di 1700 Km, contro i 2250 Km di Plutone. Ha una superficie di colore rosso, mentre la sua lenta rotazione suggerisce la presenza di un satellite attorno ad esso.

Lo stato attuale dell'astronomia permette di immaginare scenari insoliti e persino assurdi. L'impegno della ricerca nei vari campi della scienza, dall'estremamente piccolo all'estremamente grande, determina previsioni poco stimabili; tuttavia si ha fiducia nello sviluppo di strumenti sempre più precisi che consentano l'osservazione di fenomeni ai limiti dell'osservabilità attuale. L'apertura dei nuovi laboratori del CERN di Ginevra, col potenziamento dell'acceleratore di particelle, apre nuove possibilità nell'ambito della fisica delle particelle, le quali a sua volta potranno avvalorare o smentire le attuali correlazioni in campo cosmologico. Inoltre l'avvio del progetto di sostituzione del telescopio spaziale Hubble col nuovo e più potente telescopio Webb, fa ben sperare per il futuro della scienza osservativa.

BIBLIOGRAFIA

- SFERE ARMONICHE di G. Godoli, UTET 1993;
- LE SCOPERTE DELL'ASTRONOMIA: cronologia e protagonisti di F. Francescato, Franco Muzzio Editore 1998;
- STORIA DELL'ASTRONOMIA “dalla meccanica celeste al Big Bang” di Conrad A. Böhm, Franco Muzzio Editore 1989;
- ASTRONOMIA VIVA! di Gabriele Vanin, Unione Astrofili Italiani 2000.
- Enciclopedia MICROSOFT ENCARTA 2004;
- ASTRONOMIA vol. “Il cielo nella storia” - Fabbri Editori.
- STORIA DELL'ASTRONOMIA – “La storia e le scoperte nel sistema solare dalle origini ai nostri giorni” di Davide Mauro (Pubblicazione CODAS)
- Informazioni varie su siti Internet.