

Strumenti di osservazione: i moderni derivati del cannocchiale sono i telescopi ottici. Ne esistono due tipi: telescopi a rifrazione (rifrattori) e telescopi a riflessione (riflettori). I telescopi a rifrazione, più antichi, sono dotati di lenti come il cannocchiale. I raggi luminosi provenienti dalle stelle attraversano l'obiettivo e vengono concentrati, per rifrazione ottica, nel fuoco dove si forma l'immagine, che viene infine ulteriormente ingrandita dalla lente dell'oculare. I telescopi a riflessione raccolgono la luce tramite uno specchio curvo e la convogliano nel fuoco primario, davanti a esso. (Quelli a rifrazione soffrono dell'effetto di aberrazione della luce). Le caratteristiche essenziali di un telescopio sono la capacità di ingrandimento e il potere di risoluzione, che determina la nitidezza dell'immagine. I radiotelescopi sono sistemi di antenne che raccolgono deboli onde radio. Esistono telescopi per l'infrarosso, per l'ultravioletto, per i raggi X, per i raggi gamma, e sistemi per rilevare i neutrini. Gli spettroscopi e gli spettrografi permettono di analizzare la luce policromatica scomponendola nella sue varie frequenze. Esistono gli spettri di emissione continui (generati da solidi, liquidi o gas compressi incandescenti), gli spettri di emissione a righe (prodotti da gas rarefatti incandescenti a bassa pressione) e gli spettri di assorbimento (si ottengono facendo passare una luce policromatica bianca attraverso un gas rarefatto che assorbe le frequenze di luce che esso stesso emetterebbe se fosse incandescente). La spettroscopia stellare fornisce agli astronomi informazioni sulla composizione e la temperatura delle stelle.

Distanza delle stelle: si definisce *angolo di parallasse* l'angolo sotto il quale, dalla stella, si vedrebbe il semiasse maggiore dell'orbita terrestre e parsec (parallasse-secondo) un angolo di 1". L'Unità Astronomica è la distanza media Terra-Sole (circa 150 milioni di chilometri). L'anno luce è la distanza percorsa dalla luce in un anno. Metodo cefeidi: periodo pulsazione da magnitudine assoluta da cui ricavo distanza.

Magnitudine: Nella scala delle magnitudini **apparenti**, le stelle sono suddivise in sei classi di grandezza in base alla loro luminosità, come viene percepita ad occhio nudo. La magnitudine **assoluta** è la magnitudine apparente che le stelle avrebbero se fossero collocate alla distanza di 10 parsec dalla terra.

Colore e temperatura: un corpo incandescente emette radiazioni elettromagnetiche di diversa frequenza (*Legge di Wien*). La frequenza per la quale si ha il massimo di emissione è direttamente proporzionale alla temperatura assoluta.

Classi spettrali: in base alle caratteristiche delle righe dei loro spettri, le stelle sono state suddivise nelle classi o tipi spettrali O, B, A, F, G, K, M dalle più calde, alle più fredde.

Diagramma HR: (Hertzsprung-Russel) rappresenta "un'istantanea" dell'evoluzione stellare. La maggior parte delle stelle (circa il 90%) si dispone lungo una fascia obliqua, detta **sequenza principale**. Le stelle in basso a destra sono fredde e poco luminose (nane rosse), quelle in alto a sinistra sono molto luminose e molto calde (stelle azzurre). Le stelle che non appartengono alla sequenza principale sono le giganti e le supergiganti rosse e le nane bianche, molto calde e di piccole dimensioni.

Stelle particolari: vi sono le **variabili pulsanti** e le **variabili esplosive** come novae e le supernovae, che presentano un temporaneo ed enorme aumento di splendore. Esistono inoltre le **stelle binarie**, cioè coppie di stelle che ruotano l'una intorno all'altra e che si distinguono in binarie visuali, astronomiche, spettroscopiche e binarie a eclisse.

Nebulose: esistono nebulose **luminose** a riflessione o emissione e nebulose **oscur**e, come i globuli di Bok.

Evoluzione stellare: le stelle si originano da enormi nubi di gas e polveri che si contraggono sotto l'effetto della forza gravitazionale esercitata dai materiali che le costituiscono. La densità e la temperatura aumentano poiché l'energia gravitazionale si trasforma in calore. Si formano una o più **protostelle**. Se il processo di condensazione prosegue sino a che, nelle regioni centrali, la temperatura raggiunge i 10 milioni di gradi, hanno inizio le *reazioni termonucleari di fusione dell'idrogeno, che si trasforma in elio con produzione di energia ($E=mc^2$)*: nasce la stella ($m > 0,1ms$). Quando ha consumato tutto l'idrogeno, il nucleo della stella, in assenza di produzione di energia nucleare, comincia a contrarsi per l'effetto della gravità, aumentando di temperatura. Se la stella ha massa *inferiore* a 0,5 masse solari diventa una **nana bianca** ad altissima densità che si spegne lentamente. Se c'è sistema binario può crearsi una nova. Se la stella ha *massa superiore* a 0,5 masse solari diventa una **gigante rossa** (fusione elio). Se il nucleo della gigante rossa ha massa inferiore a 1,44 masse solari (limite di Chandrasekar), la stella si trasforma in una **nebulosa planetaria** e poi in una nana bianca. Se la massa del nucleo della gigante rossa *supera* 1,44 masse solari, la stella inizia una serie rapida di processi di fusione nucleare, che porta alla formazione di elementi sempre più pesanti (sino al ferro, assorbe energia). La stella esplose violentemente (**supernova**) e lascia nebulosa residuale e il suo nucleo si trasforma in una **stella a neutroni**(3-4ms) o in un **bucco nero**(>4ms).

La Via Lattea: è la galassia a cui apparteniamo, contiene centinaia di miliardi di stelle, polveri e gas e ha un diametro di circa 30 kpc. Ha forma di disco appiattito con una zona centrale, il nucleo galattico, da cui escono dei bracci a spirale con stelle giovani. Stelle antiche di popolazione II nell'alone. Le stelle spesso sono raggruppate in **ammassi stellari, aperti o globulari**.

Le Galassie: sono enormi agglomerati di stelle, classificate in base alla loro forma in galassie **ellittiche**, galassie **a spirale** e galassie **irregolari**. Sono distribuite in modo irregolare nello spazio, poiché tendono a riunirsi in gruppi, gli **ammassi galattici**, contenenti da poche decine ad alcune migliaia di galassie.

Origine ed evoluzione Universo: la scoperta del *redshift* è la prova del fatto che *le galassie si stanno allontanando da noi con una velocità tanto più elevata quanto più sono distanti (legge di Hubble $H_0 = v/d$)*. Ne consegue che *l'universo si espande*, in tutte le direzioni e in modo omogeneo. Si è perciò ipotizzato che l'universo abbia avuto origine da un piccolissimo punto di densità e temperatura infinita, in seguito ad un'esplosione, il **Big Bang**, avvenuta circa 15 miliardi di anni fa.

Il futuro dell'universo dipende dalla sua densità. Al di sotto della *densità critica*, esso continuerà ad espandersi indefinitamente (**universo aperto**), al di sopra di essa a un certo punto cesserebbe di espandersi e comincerebbe a contrarsi, per tornare a concentrarsi in un punto (**universo chiuso**). **L'universo piatto** si espanderebbe con velocità decrescente.

Il sistema solare: è un insieme di corpi celesti che subiscono la reciproca attrazione gravitazionale: comprende una stella (il Sole) di medie dimensioni, nove pianeti e almeno 54 satelliti principali, migliaia di asteroidi e una grande quantità di frammenti rocciosi e ammassi di ghiaccio (meteore e comete).

Origine del sistema solare: una nebulosa fredda in rotazione, costituita da idrogeno, elio e polveri cosmiche, cominciò a contrarsi, dividendosi in più punti. L'esplosione di una supernova favorì la formazione di un nucleo condensato, un **protosole**. Quando la temperatura al centro del sistema raggiunse valori tali da permettere l'inizio del processo di fusione nucleare, si formò il Sole. La forza centrifuga, dovuta alla rotazione, fece assumere alla nebulosa la forma di un disco rotante. Nelle zone più vicine al Sole si condensarono gli elementi e i composti più pesanti (silicati e ferro), nelle zone più lontane dal Sole si condensarono acqua, ammoniaca e metano. Si formarono così i pianeti interni rocciosi e quelli esterni gassosi. Le collisioni con i materiali ancora presenti nello spazio, hanno prodotto i crateri presenti nei pianeti rocciosi, oltre alla fusione e alla conseguente migrazione dei materiali pesanti verso l'interno, a formare il nucleo metallico dei pianeti. I pianeti di massa maggiore hanno trattenuto grandi quantità di gas leggeri, con la conseguente formazione di dense atmosfere di idrogeno, elio e metano.

Sole: è una stella di media dimensione e di media temperatura, formata da idrogeno ed elio. Sono però presenti elementi chimici derivati dall'esplosione di una supernova. Il Sole possiede un moto rotatorio e una velocità angolare di rotazione variabile con la latitudine. Il Sole emette un'enorme quantità di energia, di cui una piccola frazione raggiunge il nostro pianeta. **La struttura interna:** il **nucleo** è la zona centrale con una temperatura di circa 14-15 milioni di kelvin: qui avvengono processi di fusione nucleare. La materia è costituita in gran parte da idrogeno allo stato di plasma. La **zona radiativa** assorbe l'energia prodotta dal nucleo trasmettendola verso l'esterno per irraggiamento; nella **zona convettiva** il trasporto di energia avviene per mezzo di moti convettivi. **La parte esterna: la fotosfera** è costituita da gas a bassa pressione e la temperatura è di circa 5800 kelvin. In essa sono presenti i *granuli* (zone più luminose e più calde, dove il gas è in risalita) e le *macchie solari* (aree "fredde" il cui numero varia periodicamente). La **cromosfera** è visibile unicamente durante le eclissi di Sole ed è caratterizzata dalla presenza di grandiosi fenomeni di turbolenza: le *protuberanze* (getti di gas caldi) e i *brillamenti* (esplosioni di luce con grandissima liberazione di energia). La **corona solare** è costituita da gas fortemente ionizzati e rarefatta a temperatura estremamente elevata. In parte si disperde nello spazio come *vento solare*, che raggiunge il nostro pianeta e interagisce con l'atmosfera producendo fenomeni come aurore polari e tempeste magnetiche.

I pianeti: Mercurio, Venere, Terra e Marte sono detti **pianeti di tipo terrestre**, mentre Giove, Saturno, Urano e Nettuno sono **pianeti di tipo gioviano**. I primi, più vicini al Sole, hanno elevata densità, piccole dimensioni, una superficie solida rocciosa relativamente calda. I secondi, più lontani dal Sole, sono fluidi, di grandi dimensioni, molto freddi e con una densa atmosfera. Tutti i pianeti sono dotati di moto di rivoluzione intorno al Sole lungo orbite ellittiche quasi complanari e di rotazione in senso antiorario intorno al proprio asse, ma con notevoli differenze nella loro durata. La legge di Titius-Bode permette di determinare la distanza dei pianeti dal Sole in unità astronomiche. Le tre *leggi di Keplero* descrivono i moti dei pianeti.

I corpi minori: si tratta di oggetti di piccole dimensioni e piccola massa: *asteroidi* (in rotazione intorno al Sole nella fascia degli asteroidi), *comete* (si originano dalla nube di Oort e percorrono orbite ellittiche molto eccentriche o paraboliche), *meteore* (frammenti che si incendiano al contatto con l'atmosfera) e *meteoriti* (*metalliche* o *rocciose*).

•**Moti millenari:** il più importante è quello di **precessione luni-solare**, doppio movimento conico dell'asse terrestre in senso orario, causato dall'attrazione gravitazionale che Sole e Luna esercitano sull'equatore terrestre (26000anni). La conseguenza più importante di questo movimento è la **precessione degli equinozi**(50" 20minuti, rotazione oraria linea equinozi), con la differenziazione tra **anno sidereo** e **anno solare**. L'anno sidereo è il tempo che la Terra impiega a compiere una rivoluzione di 360° e l'anno solare è l'intervallo di tempo che intercorre tra due successivi equinozi con lo stesso nome. L'anno sidereo ha una durata di 365d 6h 9min 10s, mentre l'anno solare dura 365d 5h 48min 46s. Altre conseguenze del moto di precessione: lo spostamento dei poli celesti e la rotazione della linea degli apsidi(11" antiorario 117000anni). Le *nutazioni* sono oscillazioni che l'asse terrestre compie nel suo moto conico; lo *spostamento della linea degli apsidi* modifica le posizioni reciproche tra la linea degli apsidi e quelle equinoziali e solstiziali, ma in senso opposto alla precessione; *la variazione dell'eccentricità dell'orbita terrestre* e *la variazione dell'inclinazione dell'asse terrestre*. Tutti questi movimenti influenzano il clima e la comparsa delle glaciazioni.

•**La Luna:** è un astro solido privo di luce propria il suo raggio (1738 km) è circa 1/4 di quello terrestre e la sua massa 1/81 di quella della Terra. La forza di gravità sulla Luna è solo 1/6 di quella terrestre. Il nostro satellite ha la forma di un ellissoide a tre assi. Sulla Luna vi è assoluta mancanza di atmosfera e di acqua liquida. Sulla superficie lunare l'escursione termica "giornaliera" è notevolissima. La Terra e la Luna sono un **sistema biplanetario** in rotazione intorno al Sole e, contemporaneamente, intorno a un baricentro comune.

Moti della Luna: la rotazione intorno al proprio asse, la rivoluzione intorno alla Terra, la traslazione (insieme alla Terra) intorno al Sole. Il moto di rotazione lunare avviene in senso antiorario, se visto dal Nord celeste, e da Ovest verso Est per un osservatore terrestre. Il periodo di rotazione (giorno lunare) ha una durata di 27 d 7h 43min 12s. La Luna compie il suo moto di rivoluzione lungo un'orbita ellittica dove la Terra occupa uno dei fuochi, in accordo con le leggi di Keplero. Più precisamente Terra e Luna ruotano intorno ad un baricentro comune che, data la maggiore massa della Terra, si trova all'interno del nostro pianeta. La distanza tra Terra e Luna è variabile da un massimo di 405506 km, posizione di **apogeo**, a un minimo di 363320 km, posizione di **perigeo**. Il piano dell'orbita lunare è inclinato di 5° 9' rispetto all'eclittica. L'asse è inclinato di 6°41' rispetto perpendicolare a orbita. I due piani s'intersecano lungo una linea detta **linea dei nodi**. La curva percorsa dal nostro satellite intorno al Sole è detta **epicloide** e interseca 24 o 25 volte l'anno l'orbita terrestre.

Librazioni lunari: sono oscillazioni della Luna di tipo differente: vi sono **librazioni fisiche e librazioni apparenti**. Le seconde a loro volta si dividono in **librazioni in longitudine** (dovute al mancato sincronismo tra rotazione e rivoluzione lunare) e **librazioni in latitudine** (dovute all'inclinazione dell'asse lunare rispetto al piano dell'orbita). Ogni giorno la Luna sorge con circa 50 minuti di ritardo rispetto alla sfera celeste. Questo accade perché la Luna si sposta, nel suo moto di rivoluzione intorno al nostro pianeta, di circa 13° al giorno in senso antiorario.

Fasi lunari: quando la Luna si trova *in congiunzione*, ossia interposta tra Sole e Terra, l'emisfero che essa rivolge verso di noi non è illuminato; questa fase è detta **novilunio**. Quando la Luna si trova *in opposizione* (dalla parte opposta del Sole, rispetto alla Terra) è completamente illuminata: questa fase è detta di **plenilunio**. Queste due situazioni sono definite posizioni di **sizigie**. Tra le due posizioni descritte vi sono interposte le posizioni di **quadratura**, quando il Sole, la Terra e la Luna formano un angolo di 90° tra loro con il nostro pianeta al vertice. Al **primo quarto** e all'**ultimo quarto** la Luna ci appare illuminata a metà della superficie visibile. Tra queste fasi vi sono la *Luna crescente* e la *Luna calante*.

Mese sidereo: è il tempo effettivo che la luna impiega nel compiere una completa rotazione intorno al proprio asse: 27d 7h 43min 11,5s. Il **mese lunare (o sinodico)** è l'intervallo di tempo che intercorre tra due successivi noviluni: 29d 12h 44min 3s. La notevole differenza tra i due è causata dal fatto che mentre la Luna ruota intorno alla Terra, quest'ultima si sposta nella sua orbita di rivoluzione intorno al Sole. Di conseguenza la Luna, per tornare in allineamento con il Sole e la Terra, deve compiere un arco ulteriore che corrisponde a un angolo identico a quello percorso dalla Terra durante il mese sidereo.

Le eclissi: sono fenomeni di oscuramento temporaneo di un corpo celeste da parte di un altro. Nel caso del sistema Sole-Terra-Luna possiamo distinguere due casi: quando la Luna si interpone tra Sole e Terra si verifica un'**eclissi di Sole**, quando la Terra si interpone tra Sole e Luna si verifica un'**eclissi di Luna**. Nell'eclissi di Sole il cono d'ombra prodotto dalla Luna oscura una piccola parte di superficie terrestre: in questa zona il Sole, nel momento culminante del fenomeno, apparirà completamente oscurato (**eclissi totale di Sole**). Il cono di penombra colpisce le zone dove si vedrà un'**eclissi parziale**. Quando la Luna ha un piccolo diametro apparente (perché è in apogeo) non riesce, anche in presenza di un perfetto allineamento, a coprire l'intera superficie del Sole: **eclissi anulare di Sole**. In un anno si possono verificare da un minimo di due a un massimo di sette eclissi: nel primo caso sono entrambe di Sole nel secondo caso sono cinque di Sole e due di Luna. Le eclissi si ripetono periodicamente a intervalli di 18 anni e 11 giorni: **ciclo di Saros** o delle eclissi.

- La Terra compie una serie molto complessa di movimenti: i principali sono il moto di rotazione intorno al proprio asse e quello di rivoluzione intorno al Sole.

Moto rotazione: la Terra ruota intorno al proprio asse in senso antiorario, a velocità sostanzialmente uniforme, in un tempo di 23h 56min 4s, definito giorno sidereo. Tutti i punti della Terra possiedono la medesima *velocità angolare*, intesa come l'angolo percorso da un corpo, in un moto di rotazione, nell'unità di tempo. La *velocità lineare* di rotazione (ossia la distanza per corsa nell'unità di tempo da un corpo in rotazione) varia in base alla latitudine.

Prove del moto rotazione: l'analogia con gli altri pianeti; l'esperienza di Guglielmini (deviazione verso est dei corpi in caduta libera); l'esperienza di Foucault (rotazione apparente giornaliera del piano di oscillazione del pendolo).

Conseguenze moto rotazione: il movimento apparente della volta celeste e del Sole, la variazione di peso di un corpo con la latitudine a causa della forza centrifuga, l'esistenza della forza apparente di Coriolis, l'alternanza del dì e della notte.

Moto rivoluzione: il nostro pianeta impiega 365d 6h 9min 10s a compiere una completa rotazione e tale periodo è detto anno sidereo. Il punto di massima distanza tra Terra e Sole è detto afelio e corrisponde a circa 152 milioni di chilometri, mentre il punto di massima vicinanza al Sole è detto perielio e corrisponde a circa 147 milioni di chilometri: la distanza media Terra-Sole è di circa 149600000 km (*Unità Astronomica*). La linea che unisce afelio e perielio è detta *linea degli apsidi*. Il piano equatoriale della Terra forma un angolo di 23° 27' con il piano orbitale: questo significa che l'asse terrestre è inclinato di 66°33' rispetto al piano dell'eclittica. L'asse terrestre non cambia la sua inclinazione nel corso dell'anno.

Prove moto rivoluzione: analogia con altri pianeti, la rotazione annua della sfera celeste, il movimento annuo del sole attraverso le costellazioni dello zodiaco, l'aberrazione stellare annua, la parallasse annua, l'effetto Doppler.

Conseguenze del moto di rivoluzione: alternanza delle stagioni, differente durata del dì e della notte per uno stesso luogo nei diversi giorni dell'anno, esistenza delle zone astronomiche (zona torrida tra i due tropici, zone temperate boreale e australe tra i tropici e i circoli polari, calotte polari entro i circoli polari), diversa altezza del Sole sul piano dell'orizzonte durante l'anno, differente durata del dì della notte nelle varie latitudini in un giorno qualsiasi dell'anno, apparente moto retrogrado del Sole sulla sfera celeste attraverso le costellazioni dello zodiaco, diversa durata del giorno sidereo e del giorno solare. *L'alternanza delle stagioni* è causata dalla variazione dell'inclinazione dei raggi solari in un qualsiasi punto della superficie terrestre nel corso dell'anno e dalla diversa durata del dì e della notte. Agli **equinozi di primavera e d'autunno** (21 marzo e 23 settembre) il Sole in culminazione raggiunge lo zenit all'equatore; al **solstizio d'estate** (21 giugno) il Sole in culminazione è allo zenit sul parallelo situato a 23° 27' a Nord dell'equatore, definito come tropico del Cancro, mentre al **solstizio d'inverno** (22 dicembre) i raggi del Sole in culminazione arrivano perpendicolari al tropico del Capricorno situato a 23° 27' a Sud dell'equatore. Diversa durata **giorno sidereo** (23h 56m 4s) e **giorno solare** (4m in più).

- **Punti di riferimento sfera celeste:** l'**asse del mondo** è il prolungamento dell'asse terrestre e incontra la sfera celeste in due punti, il polo Nord celeste e il polo Sud celeste. L'**equatore celeste** è la circonferenza risultante dall'intersezione del piano, perpendicolare all'asse del mondo e passante per il centro della sfera celeste, con la sfera stessa. I **paralleli celesti** e i **meridiani celesti** sono una proiezione di quelli terrestri sulla sfera celeste: i primi saranno circonferenze poste su piani paralleli all'equatore, e i secondi

semicirconferenze che si incontrano nei poli. Insieme formano un reticolato di linee, che serve da riferimento per le **coordinate equatoriali**. Il parallelo fondamentale (zero) è l'equatore celeste, mentre il meridiano fondamentale è quello passante per il **punto γ o punto dell'Ariete** e non è la proiezione sulla sfera celeste del meridiano di Greenwich. Si definisce infine colui la circonferenza che comprende il meridiano fondamentale e quello opposto e che passa per i punti γ e ω . Lo **zenit** è il punto della sfera celeste verticale sopra la testa dell'osservatore e il nadir è il punto opposto. Il piano passante per il centro della sfera celeste e perpendicolare alla verticale del punto dell'osservatore, è definito *piano dell'orizzonte astronomico* e la circonferenza derivante dalla sua intersezione con la sfera celeste *orizzonte astronomico (o celeste)*. I **cerchi verticali** sono le circonferenze passanti per lo zenit e il nadir dell'osservatore: quello che passa anche per il poli celesti e viene preso come riferimento, è il **meridiano locale**. **Coordinate equatoriali**: sono riferite all'equatore e indipendenti dalla posizione dell'osservatore. La **declinazione** è la distanza angolare del corpo celeste considerato dall'equatore celeste, si misura in gradi e varia da 90° N a 90° S. **L'ascensione retta** è l'angolo misurato in senso antiorario tra il meridiano fondamentale e il meridiano celeste passante per l'astro considerato. Si misura in ore, minuti e secondi.

Coordinate orizzontali o altazimutali: l'**altezza** di una stella (h) è l'angolo tra la direzione della stella e il piano dell'orizzonte.

L'**azimut** (a) è l'angolo tra il circolo meridiano e il circolo verticale passante per l'astro, misurato sul piano dell'orizzonte, in senso orario e a partire da S.

Le Stelle sono solidali tra loro e durante la notte compiono (con l'eccezione della Stella Polare) una traiettoria da Est verso Ovest: il punto più alto della loro traiettoria, rispetto al piano dell'orizzonte, è detto culminazione. Inoltre le stelle occidue sorgono, culminano e tramontano, mentre le stelle circumpolari compiono circonferenze più piccole intorno alla Stella Polare e non tramontano mai.