



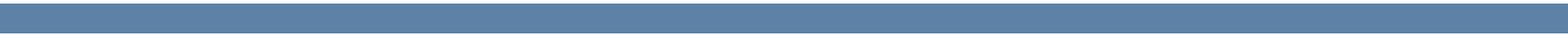
guida all'osservazione del cielo

edizione aggiornata al 2024



testi di Giancarlo Favero

a cura di Lucia Mazzilli



guida all'osservazione del cielo

edizione aggiornata al 2024

testi di Giancarlo Favero

a cura di Lucia Mazzilli



in copertina: Un'immagine della Nebulosa della Carena, una regione di formazione stellare visibile nell'emisfero australe, ripresa con luce infrarossa utilizzando la fotocamera HAWK-I del Very Large Telescope dell'ESO. Questo strumento consente di cogliere lo spettacolare paesaggio celeste di gas, polvere e giovani stelle. (ESO/T. Preibisch)

PREMESSA

Questo libro è la versione riveduta di una prima edizione apparsa nel 1984. Ho mantenuto la premessa del compianto prof. Rosino per la stima e l'amicizia che nutrivo per lui e per la sua validità. Fra parentesi e in corsivo gli aggiornamenti necessari.

C Giancarlo Favero, (*già*) professore associato di Chimica Generale all'Università di Padova e appassionato cultore di astronomia, ha scritto questo volume che riflette in parte le sue stesse esperienze, con l'intento di fornire agli astrofili, e in modo particolare ai giovani che si avviano allo studio del cielo, una guida per la scelta di un piccolo telescopio per l'impiego nell'osservazione visuale e fotografica dei pianeti e delle stelle.

Chi scrive queste righe rammenta ancora, con intimo piacere, le sue prime e lontanissime esperienze di astrofilo. Suo massimo desiderio era allora di poter vedere con il telescopio quanto aveva trovato descritto sui libri: i monti, le valli, i crateri della Luna, i satelliti di Giove, l'anello di Saturno, le stelle doppie colorate.

Ma come procurarsi un telescopio, sia pure di modestissime dimensioni?

Non mancavano scritti di buona volgarizzazione. Ma non ve n'era uno che affrontasse il problema della costruzione di un cannocchiale. Gli venne finalmente tra le mani un opuscolo in francese, che dava qualche sommaria indicazione per realizzare, con pochi soldi, una specie di cannocchiale, il cui obbiettivo era una semplice lente da occhiale e l'oculare una lentina contafili. Con quello strumento, imper-

fetto e montato ancor peggio, lo scrivente poté finalmente appagare il desiderio di vedere, sia pure a stento, ma con infinita soddisfazione, quelle meraviglie celesti che l'occhio non riusciva a distinguere. Il giovane astrofilo ha oggi certamente maggiori possibilità. Non è difficile trovare, con somme modeste, piccoli cannocchiali di buona fattura, usati o nuovi. E fioriscono ormai in Italia, un po' dovunque, associazioni di astrofili, dove ognuno può avere assistenza, consigli, incoraggiamento. Ma chi ama veramente il cielo, chi ne intende il linguaggio misterioso e affascinante, non si accontenta di un piccolo telescopio. Vuole avere di più, vuol veder oltre.

Questo manuale rende possibile all'astrofilo intelligente e operoso di realizzare il suo sogno: aver tra le mani un telescopio degno di questo nome, con il quale sia possibile non solo ammirare le tante meraviglie del cielo (ed è sempre una nobile ed encomiabile aspirazione), ma compiere delle vere e proprie osservazioni scientifiche. E qui il discorso si allarga. Può l'astrofilo, con mezzi sempre modesti, portare personali contributi alle ricerche astronomiche?

La risposta è affermativa. Se è pur vero che le ricerche di avanguardia si fanno con i grandi telescopi, è anche vero che il cielo è così vasto, i problemi da risolvere sono

tanti, l'esplorazione degli abissi siderali così carica di sorprese, che all'astrofilo serio e ben preparato restano sempre ampie opportunità di recare un personale contributo alla conoscenza. A volte basta una semplice osservazione per decidere sulla sorte di ingegnossissime teorie e non è detto che non possa essere l'astrofilo a compierla.

Campo classico, per l'astrofilo, è quello delle stelle variabili. Ve ne sono decine di migliaia, che l'astronomo professionista non può seguire e restano perciò affidate al paziente e sistematico lavoro degli amatori, i quali, a seconda dei mezzi di cui dispongono, le studiano visualmente o fotograficamente, con le (*moderne camere elettroniche*). Stelle variabili, stelle doppie, variabili a guizzo, stelle nuove, comete, sciami di stelle cadenti, ecco altrettanti oggetti al cui studio l'astrofilo dotato d'un buon telescopio può senz'altro cimentarsi. Le sue osservazioni, quando siano compiute con il necessario rigore scientifico, sono bene accette dagli astronomi professionisti, che spesso le sollecitano e ne fanno largo uso. Anche in campo planetario le osservazioni di dilettanti possono essere di grande utilità: si pensi alla statistica dei fenomeni che si presentano nell'atmosfera di Giove e di Saturno, alla variabilità evidente, anche se ancor poco nota, dei satelliti di questi pianeti. Questo manuale esce in un momento par-

ticolarmente felice. Le grandi imprese spaziali, l'esplorazione diretta di mondi vicini e lontani, un rifiorire della letteratura divulgativa astronomica in giornali, alla radio, alla televisione, tutto ciò ha contribuito a suscitare un vivo interesse. Chi scrive queste righe riceve quotidianamente lettere di amatori che vogliono sapere, che chiedono informazioni, dati, fotografie di oggetti celesti, che domandano dove e come possono trovare o costruirsi un telescopio. In tanti casi le richieste sono ben formulate e denotano un desiderio di sapere, di fare, degno di ogni incoraggiamento. Ebbene, coloro che si apprestano allo studio del cielo troveranno in queste pagine una guida sicura, che spiegherà, con linguaggio semplice e al tempo stesso col dovuto rigore scientifico, quanto essi dovranno conoscere per poter osservare con piena soddisfazione. Chiudo questa breve premessa con l'augurio che gli astrofili possano trovare nella contemplazione del cielo e nella conoscenza d'un universo che trascende ogni umana concezione di tempo e di spazio, quella pace e quella serenità di spirito che i turbinosi eventi della vita di oggi rendono sempre più rare e preziose.

Prof. Leonida Rosino
Direttore dell'Osservatorio astronomico di
Padova-Asiago

INTRODUZIONE ALL'ASTRONOMIA

Avvertenza. Nella colonna laterale, oltre a note e a didascalie, segnalati nel testo dal simbolo *fisheye*(☉) vi sono periodi che costituiscono delle esemplificazioni e/o degli approfondimenti matematici. Il lettore può anche ometterne la lettura senza nocumen- to nella continuità del discorso. Ogni parola di cui il lettore non conosce il significato va consulta- ta su Wikipedia.

CENNI DI STORIA

Per il neofita, il moto degli astri appare insensibile agli avvenimenti umani e agli sforzi compiuti per penetrarne i segreti, e si realizza seguendo cicli che l'uomo, probabilmente fin dal suo apparire quale prodotto dell'evoluzione, ha utilizzato per scandire il ritmo della sua esistenza. Nella quotidiana lotta per il cibo e la sopravvivenza, gli astri sono stati presto utilizzati quali periodici messaggeri di cicli stagionali, preziosi richiami di eventi e condizioni adatte a quelle operazioni di importanza vitale che l'agricoltura e l'allevamento richiedono.

Tra gli astri, il Sole ha sempre occupato una posizione preminente: dal suo calore viene la vita e dal Sole proviene in definitiva ogni fonte di energia di cui l'uomo dispone (legna, carbone, petrolio, vento, radiazione). Ci si figura pertanto con quanta preoccupazione l'uomo primitivo abbia seguito il moto del Sole, con quanto terrore lo abbia visto ad ogni autunno scendere inesorabilmente, giorno dopo giorno, verso l'orizzonte. Ogni giorno alzarsi più tardi e, stancamente, raggiungere ogni volta un'altezza massima sull'orizzonte inferiore a quella del giorno precedente. L'astro della vita è apparso in balia di una volontà capricciosa: sarebbe stato costretto a sprofondare sotto l'orizzonte,

condannando il mondo a una morte certa, o, raggiunta una minima altezza sull'orizzonte, avrebbe ripercorso il suo cammino verso le regioni alte del cielo, verso la vita?

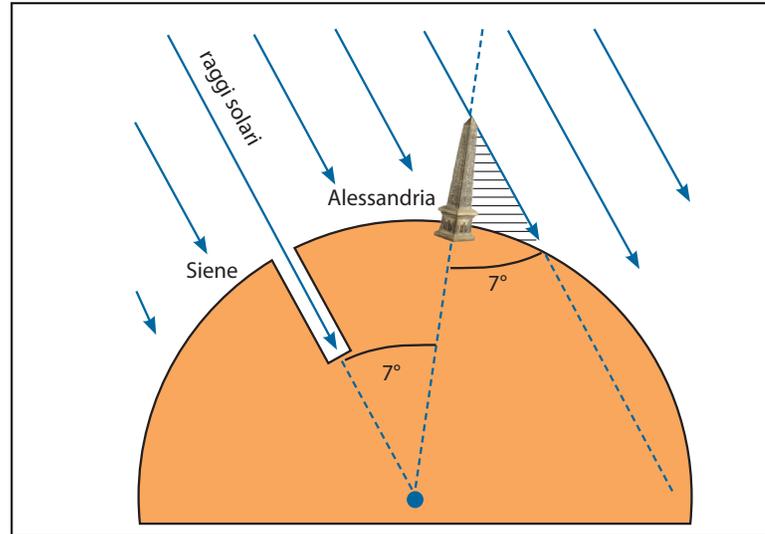
Fu necessaria una grande capacità di astrazione per sottrarsi alla visione animistica che l'uomo primitivo aveva dell'Universo, per comprendere che quanto si osserva in cielo è ciclico e perciò prevedibile. Fu necessaria contemporaneamente una grande capacità osservativa, un'accurata registrazione dei fatti astronomici, anche dei più insignificanti, al fine di distinguere i segni della regolarità.

Coloro che per primi si resero conto della ciclicità delle stagioni, e furono in grado di prevedere il momento esatto in cui il Sole avrebbe invertito il suo pericoloso moto verso l'orizzonte, assunsero un ruolo importantissimo all'interno della comunità: dal successo di queste previsioni sorse la figura dell'astrologo. Inizialmente il suo compito era limitato alla esecuzione di accurate misurazioni atte a segnalare l'avvicinarsi del solstizio invernale e a predisporre quelle feste che, come il nostro Natale, segnano la riconciliazione della divinità con l'umanità. Ben presto però, accanto a questa occupazione seria, fu chiesto all'astrologo di occuparsi della previsione, apparentemente simile nella sostanza, di altri avvenimenti

quali nascite, successo di imprese, opportunità di scelte. Nasce così l'astrologo nella sua connotazione moderna, teso a utilizzare informazioni scientifiche acquisite attorno a fenomeni relativi agli astri per un'applicazione umana, individuale, quasi che per gli uomini potessero valere le regolarità dei cicli astrali e non piuttosto l'ecletticità della psiche, i condizionamenti sociali, le limitazioni imposte dalle leggi. L'occupazione in questo tipo di previsione è diventata per l'astrologo addirittura preminente, forse perché più remunerativa in tutti i sensi, nei confronti dell'impegno osservativo: è per questo, forse, che gli sono sfuggite le conseguenze di un lento moto generale delle stelle, noto come precessione, che, come avremo modo di vedere, ha addirittura stravolto i fondamenti dell'astrologia consentendo di svelarne la natura non scientifica.

Non è opportuno, sia per le finalità del libro che per la reperibilità di fonti più autorevoli, trattare in dettaglio i contributi portati all'astronomia da osservatori e pensatori che, fin dalle prime pagine della storia, contribuirono alla gloria di civiltà come Sumeri, Babilonesi, Assiri, Egiziani. Si cercherà di annotare rapidamente quei punti fondamentali che, quali pietre angolari, reggono l'intera costruzione scientifica che oggi conosciamo.

Attorno al III secolo a.C. la cultura greca aveva penetrato alcune delle realtà astronomiche quali la rotondità della Terra (Talete di Mileto) e la sua somiglianza con altri corpi, come la Luna (Pitagora). Eratostene di Cirene era talmente certo di queste cognizioni da tentare una misurazione della

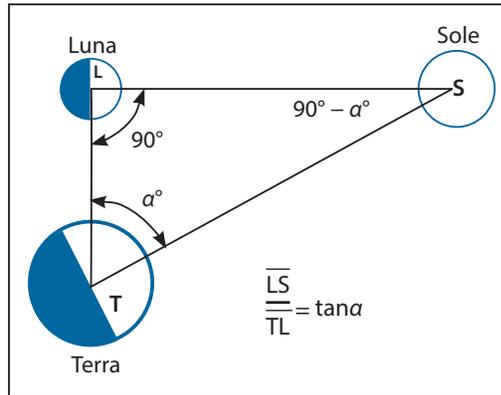


circonferenza terrestre tramite un originale procedimento che rimane un perfetto esempio di esperimento scientifico (vedi fig. 1).

Avendo appreso che al tempo del solstizio estivo, il giorno più lungo dell'anno, il Sole saliva a mezzogiorno sulla verticale di Siene (Assuan) tanto che gli obelischi non gettavano più ombra, Eratostene osservò che ad Alessandria, dove era bibliotecario, nella stessa data il Sole non si avvicinava che fino a 7° alla direzione della verticale, angolo che egli misurò trovando il rapporto tra l'altezza di un oggetto e la lunghezza della sua ombra. Con riferimento alla fig. 1, poiché l'angolo giro intorno al centro di un cerchio è di 360° , 7° ne costituiscono la 51^{esima} parte circa ($360 : 7 = 51,43$): pertanto la circonferenza della Terra doveva essere 51 volte la distanza che separa Siene da Alessandria. Pur non disponendo di dati accurati, Eratostene ottenne un valore così vicino alla

Fig. 1. Il metodo di Eratostene per misurare la Terra.

Fig. 2. Il metodo di Aristarco da Samo per comprendere le misure del Sistema Solare.



◦La trigonometria afferma che il rapporto tra il cateto Luna-Sole (LS) e il cateto Terra-Luna (TL) è uguale a un numero che viene chiamato «tangente» dell'angolo in corrispondenza della Terra (α). Il valore della tangente di qualsiasi angolo è ricavabile semplicemente da una calcolatrice tascabile che possieda la funzione *tan*.

realtà da rendersi conto della vastità del globo.

◦ In precedenza Aristarco da Samo era riuscito a farsi un'idea delle dimensioni del Sistema Solare determinando il rapporto tra le distanze Terra-Luna e Terra-Sole. Nel momento in cui metà della Luna appare illuminata dal Sole, fase denominata "Primo Quarto", il triangolo formato da Terra, Luna e Sole (*fig. 2*) ha un angolo retto (90°) in corrispondenza della Luna. Se si misura il valore dell'angolo in corrispondenza della Terra si può valutare di quante volte la distanza Luna-Sole (cateto) supera la distanza Luna-Terra (altro cateto).

In effetti l'angolo in corrispondenza della Terra è molto prossimo a 90° , per cui Aristarco fu in grado di ricavare solo una stima del fatto che il Sole doveva trovarsi molto distante dalla Terra: questo però fu sufficiente a fargli comprendere che il Sole doveva essere molto più grande della Luna e della Terra ed essere pertanto il centro del Sistema Solare.

Nonostante questo bagaglio di conoscenze fosse a disposizione di tutti, il mondo greco e tutti coloro che vissero nei duemila anni seguenti rimasero soggiogati alla visione che dell'Universo si era fatto Aristotele, di un sistema con la Terra al centro (geocentrico) circondata da sfere trasparenti alle quali erano incastonati i pianeti, la Luna, il Sole e gli astri, in un insieme complesso ma armonico. Fu necessario attendere fino al 1500 perché Nicolò Copernico riproponesse arditamente, contro l'opinione pubblica e religiosa del tempo, la centralità del Sole. I tempi però erano maturi: Giovanni Keplero portò una pietra miliare all'edificazione del sistema eliocentrico determinando la forma dell'orbita che la Terra e Marte descrivono attorno al Sole e definendo, nelle tre leggi che portano il suo nome, le caratteristiche di tali orbite.

Lo sforzo di Keplero fu sostenuto da Galileo Galilei il quale, aristotelico per istruzione, si mutò in copernicano grazie all'osservazione della natura e soprattutto dopo aver rivolto agli astri un cannocchiale che lui stesso aveva costruito nell'estate-autunno 1609, quando era professore di matematica all'Università di Padova. La Luna mostrò un paesaggio fatto di monti e pianure, straordinariamente simile a quello terrestre, la Via lattea si rivelò formata da miriadi di stelle e Giove risultò corteggiato da quattro satelliti, il che toglieva alla Terra la palma della centralità universale. In seguito il Sole rivelò nelle macchie mutevoli un'evidenza che contrastava con le opinioni aristoteliche dell'incorruttibilità

dei corpi celesti e la rotazione del Sole e le fasi di Venere, infine, dimostrarono che la Terra non era il centro assoluto dell'Universo.

Sul finire del 1600 Newton compì l'opera mirabile di definire l'essenza dei moti celesti tramite l'ipotesi dell'esistenza di una forza universale, detta gravitazionale, che tende a unire tanto più due corpi quanto più massicci essi sono ma che si riduce velocemente se i corpi sono allontanati l'uno dall'altro, diminuendo con il quadrato della mutua distanza.

Nel 1838 Bessel determinò la prima distanza di una stella dalla Terra rivelando la vastità inattesa dello spazio abitato dagli astri. All'inizio del XX secolo Edwin Hubble comprese che il sistema stellare di cui facciamo parte, la Via Lattea o Galassia, non è che una delle innumerevoli galassie che popolano l'Universo e che appaiono allontanarsi reciprocamente. L'osservazione di questo moto ha suggerito che l'Universo in cui viviamo sia nato circa 13,8 miliardi di anni fa da una grande esplosione, il Big Bang. Penzias e Wilson nel 1966 scoprirono un calore diffuso in tutto lo spazio, radiazione fossile dell'esplosione avvenuta in quell'occasione. Oggi sappiamo che l'espansione è destinata ad accelerare, anche se non sappiamo per quale motivo l'attrazione gravitazionale dell'Universo stesso non sia in grado di rallentarla. Questo è uno dei motivi per cui i giovani motivati sono attratti dalla moderna cosmologia, destinata a scoprire prima o poi le ragioni di tale comportamento.

L'UNIVERSO INTORNO A NOI

Imperniato sul Sole, si distende un gruppo di otto pianeti (da Mercurio a Nettuno) che, assieme a 285 satelliti e a quattro sistemi di anelli, occupano il nocciolo del Sistema Solare. La stella centrale, la cui massa rappresenta il 99,9% della massa dell'intero sistema, è costituita di gas leggeri, idrogeno ed elio mescolati nel rapporto in peso di 74 e 24% rispettivamente. Il restante 2% è costituito da tutti gli altri elementi conosciuti, presenti in quantità variabile ma sempre più rari quanto più complessi nella struttura atomica. La temperatura superficiale di circa 6000°C è il pallido riflesso dell'enorme calore che viene prodotto nel cuore del Sole dove l'idrogeno, portato a più di 15 000 000°C, si trasforma in elio. È questa una trasformazione che da un lato, quello della bomba H, è tristemente nota ma che dall'altro, quello della produzione di energia, suscita il vivo interesse della comunità scientifica internazionale.

Ogni secondo il Sole brucia 600 milioni di tonnellate di idrogeno producendo una spaventosa quantità di calore, sufficiente a far fronte ai fabbisogni terrestri per molti anni. Solamente una piccola parte però giunge a Terra, sufficiente a mettere e mantenere in moto tutto quanto sul nostro pianeta si muove.

L'energia prodotta nel cuore del Sole fluisce lentamente dalle sue viscere, costretta com'è a farsi strada fra 700 000 chilometri di materia prima di giungere alla superficie visibile, chiamata fotosfera. Da questo momento l'energia si irradia liberamente nello spazio

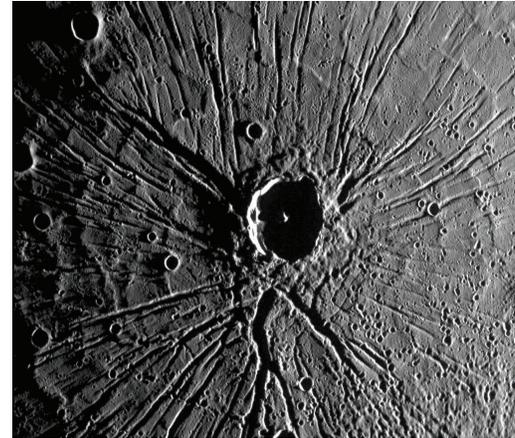
◦ Bruciando 1 chilogrammo di gasolio, negli impianti domestici di riscaldamento o nei grandi complessi industriali si ottengono circa 10 000 000 calorie: energia sufficiente ad innalzare di 1°C la temperatura di 10 000 chilogrammi di acqua. Se potessimo realizzare con la stessa facilità la fusione controllata di 1 chilogrammo di idrogeno otterremmo 993 grammi di elio e la massa mancante all'appello verrebbe trasformata in energia. L'energia ottenibile (E) dipende dalla quantità di materia trasformata (m) moltiplicata per il quadrato della velocità della luce (c), secondo la relazione di Einstein:

$$E=mc^2$$

(c = 300 000 000 metri al secondo, m/s), producendo tanto calore da riscaldare di 1°C 150 000 000 000 di chilogrammi d'acqua: un processo che è quindici milioni di volte più efficiente della combustione di gasolio.



A sinistra. La superficie craterizzata di Mercurio ripresa nel 2008 dalla sonda MESSENGER con lo strumento Mercury Dual Imaging System (MDIS). Già ai tempi del Mariner 10, il cratere grande è stato battezzato "Vivaldi" in onore del compositore italiano. La ripresa è stata realizzata da una distanza di circa 18.000 chilometri. (NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington)



Qui sopra. Pantheon Fossae in un'altra ripresa realizzata dalla sonda MESSENGER.

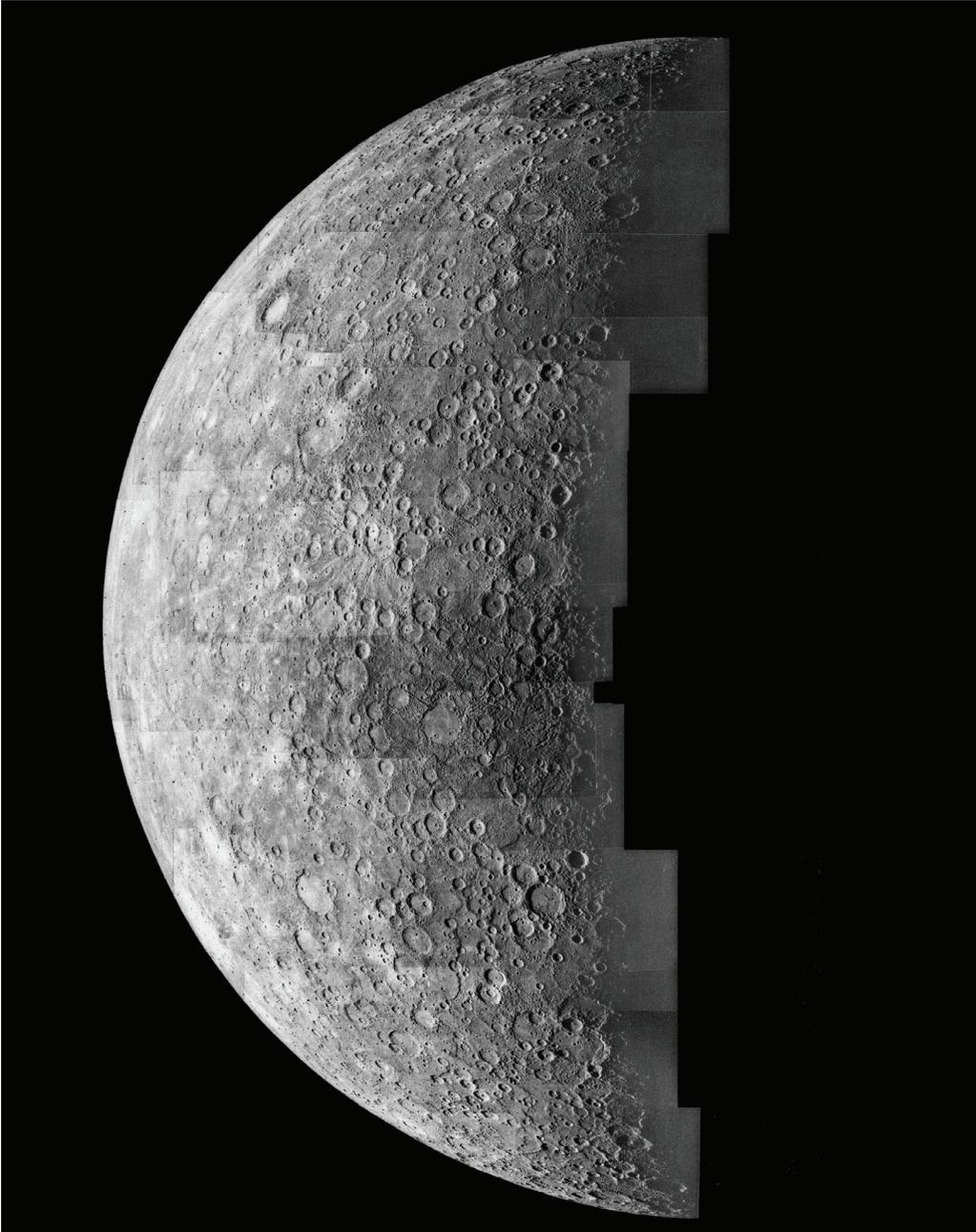
come luce, principalmente, ma anche come flusso di materia, il vento solare. La luce emessa dalla fotosfera deve viaggiare per 58 000 000 di chilometri prima di incontrare il pianeta Mercurio, un viaggio che lei impiega circa 3 minuti a compiere[⊙].

⊙ NOTA: km = chilometro, cioè 1000 metri, simbolo m; s = simbolo del secondo di tempo)
 $58\,000\,000\text{ km} : 300\,000\text{ km/s} = 193,3\text{ s}$; $193,3\text{ s} : 60\text{ s/min} = 3,22\text{ min}$

MERCURIO

Si tratta di un piccolo pianeta, di neppure 5000 chilometri di diametro, così martoriato di crateri che, se per caduta di un meteorite se ne formasse uno nuovo almeno un vecchio cratere verrebbe distrutto. Tutti i crateri osservabili sul pianeta sono stati prodotti

dalla caduta di corpi più o meno grandi, analogamente a quanto è accaduto alla Luna e a tutti i corpi del Sistema Solare. Mercurio gira lentamente intorno a se stesso completando una rotazione in 58,65 giorni mentre il tempo impiegato per fare una rivoluzione intorno al Sole è di 87,969 giorni, tanto che il suo rapido spostamento fra le stelle giustifica il nome attribuitogli fin dall'antichità quale veloce messaggero degli dei. Tra le durate del giorno e dell'anno di Mercurio vi è una correlazione, in modo che il pianeta compie tre giri su se stesso nel medesimo tempo che



Un mosaico di immagini di Mercurio riprese dalla sonda Mariner 10 da 125 000 miglia di distanza. Il cratere dai raggi luminosi (appena sotto la parte superiore centrale) è stata la prima caratteristica riconoscibile sulla superficie del pianeta ed è stato battezzato Gerard Kuiper in memoria dell'astronomo membro del team Mariner 10. La navicella spaziale Mariner 10 è stata lanciata nel 1974. Durante la sua missione la navicella spaziale ha scattato più di 7000 immagini di Mercurio, Venere, Terra e Luna. La missione Mariner 10 è stata gestita dal Jet Propulsion Laboratory per l'Office of Space Science della NASA a Washington, DC.

◉Secondo la prima legge di Keplero, i pianeti descrivono orbite ellittiche nelle quali il Sole occupa uno dei fuochi. Un'ellisse è una curva formata da tutti i punti per i quali è costante la somma delle distanze da due punti particolari, detti fuochi. Questa definizione, insieme alla fig. 3, (vedi fig. 3) ci aiuta a escogitare un ingegnoso sistema per tracciare tale curva: infissi solidamente due spilli su un cartone robusto vi si appende un anello di filo non elastico. Inserendo nell'anello la punta di una matita e spostandola fino a mantenere in tensione il filo, si ha una sola possibilità di movimento per la matita: quella di disegnare un'ellisse, appunto. Tanto più vicini sono i due spilli (i fuochi dell'ellisse) tanto più la curva si avvicina a una circonferenza. Chiamando a il semiasse maggiore dell'ellisse (fig. 4) e d la distanza tra un fuoco e il centro dell'ellisse, si definisce l'eccentricità e :

$$e = d : a$$

Per un cerchio, quando d vale zero, $e = 0$; valori di e diversi da zero e crescenti sono caratteristici di orbite sempre più eccentriche, cioè più schiacciate.

impiega a completare due rivoluzioni intorno al Sole (risonanza rotazione-rivoluzione scoperta da Giuseppe Colombo dell'Università di Padova, del quale una sonda porta il nome). L'orbita che il pianeta percorre è tra le più schiacciate (ellittiche) orbite planetarie, assieme a quella di Marte◉.

VENERE

Dopo aver riscaldato la superficie di Mercurio fino a 430°C (sul lato non illuminato, a causa dell'assenza di atmosfera si misurano -185°C),

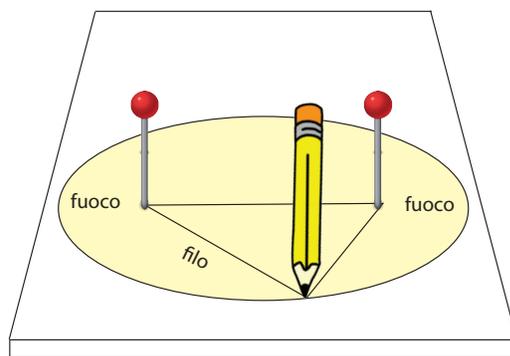


Fig. 3. Schema utile a comprendere come tracciare un'orbita ellittica.

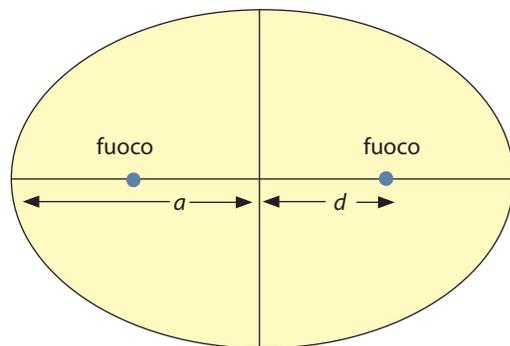
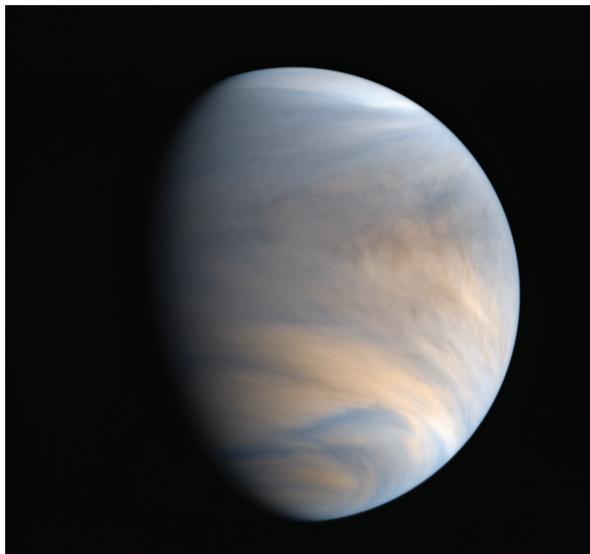


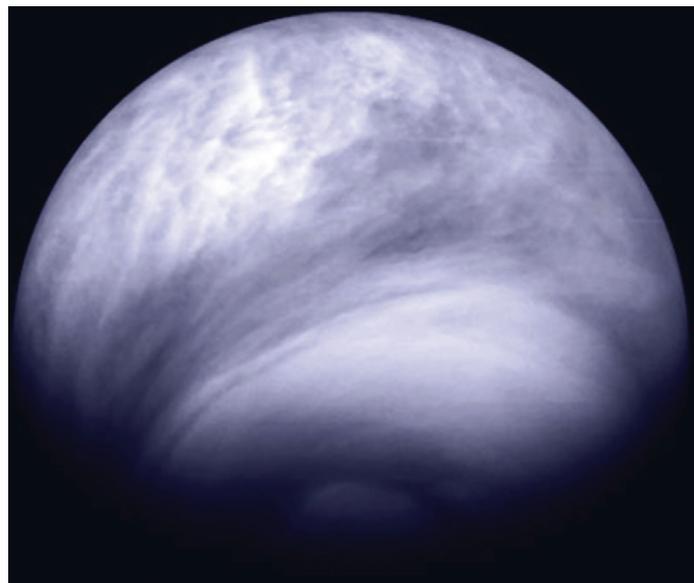
Fig. 4. Schema utile a calcolare l'eccentricità di un'orbita.

la luce deve viaggiare ancora quasi 3 minuti per percorrere i 50 000 000 di km che separano le orbite di Mercurio e Venere.

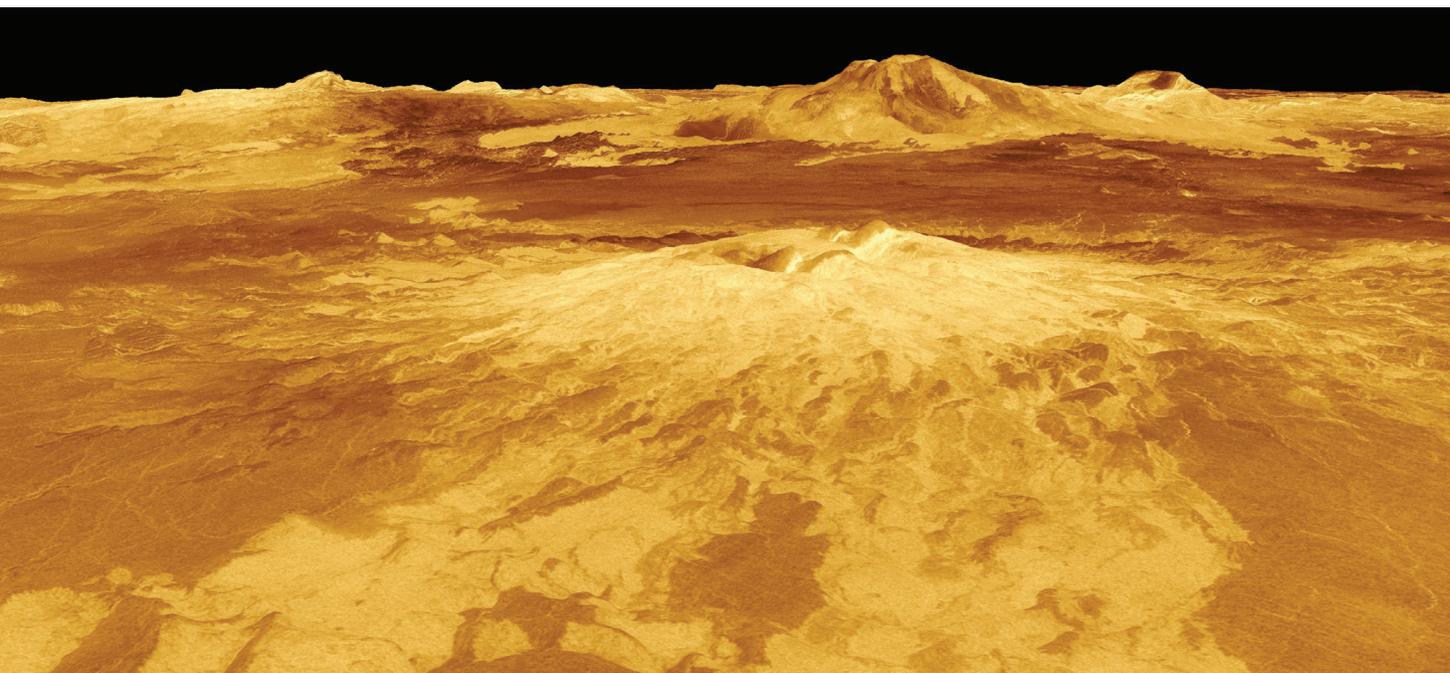
Il pianeta dedicato alla dea dell'amore è in realtà tutt'altro che attraente: circondato da una spessa atmosfera di anidride carbonica carica di nubi d'acqua e acido solforico, il suolo di Venere registra temperature dell'ordine di 500°C e pressioni attorno alle 90 atmosfere. La struttura del suolo, quale risulta dagli studi fatti da terra o dalla sonde che sono state inserite in orbita attorno al pianeta (Pioneer, Magellano, Venus Express – ESA – Akatsuki – Giappone), è per certi aspetti peculiare tra le superfici planetarie che avremo modo di descrivere: non vi si trovano grandi depressioni, quali i fondi oceanici terrestri, né ampi altopiani quali i continenti del nostro pianeta. La superficie si trova per il 90% prossima a una quota media dalla quale solo due continenti, forse due enormi vulcani a scudo, si innalzano fino a 4000 (Afrodite) e 11 000 metri (Ishtar). È stata accertata la presenza di crateri sebbene il loro numero, come accade sulla Terra, sia molto basso se paragonato a quanto accade su Mercurio. Alcuni dettagli della superficie forniti da sonde russe illustrano un paesaggio di natura vulcanica, formato da lastre di materiale solidificato sul quale sono distribuiti ciottoli a spigoli vivi, derivati probabilmente da materiale eiettato a grandi altezze e fratturato al momento della ricaduta al suolo. Venere percorre l'orbita intorno al Sole in circa 225 giorni terrestri mentre compie una rotazione su se stessa in 243 giorni, in senso orario visto dal Nord terrestre e perciò alquanto peculiare nel Sistema Solare.



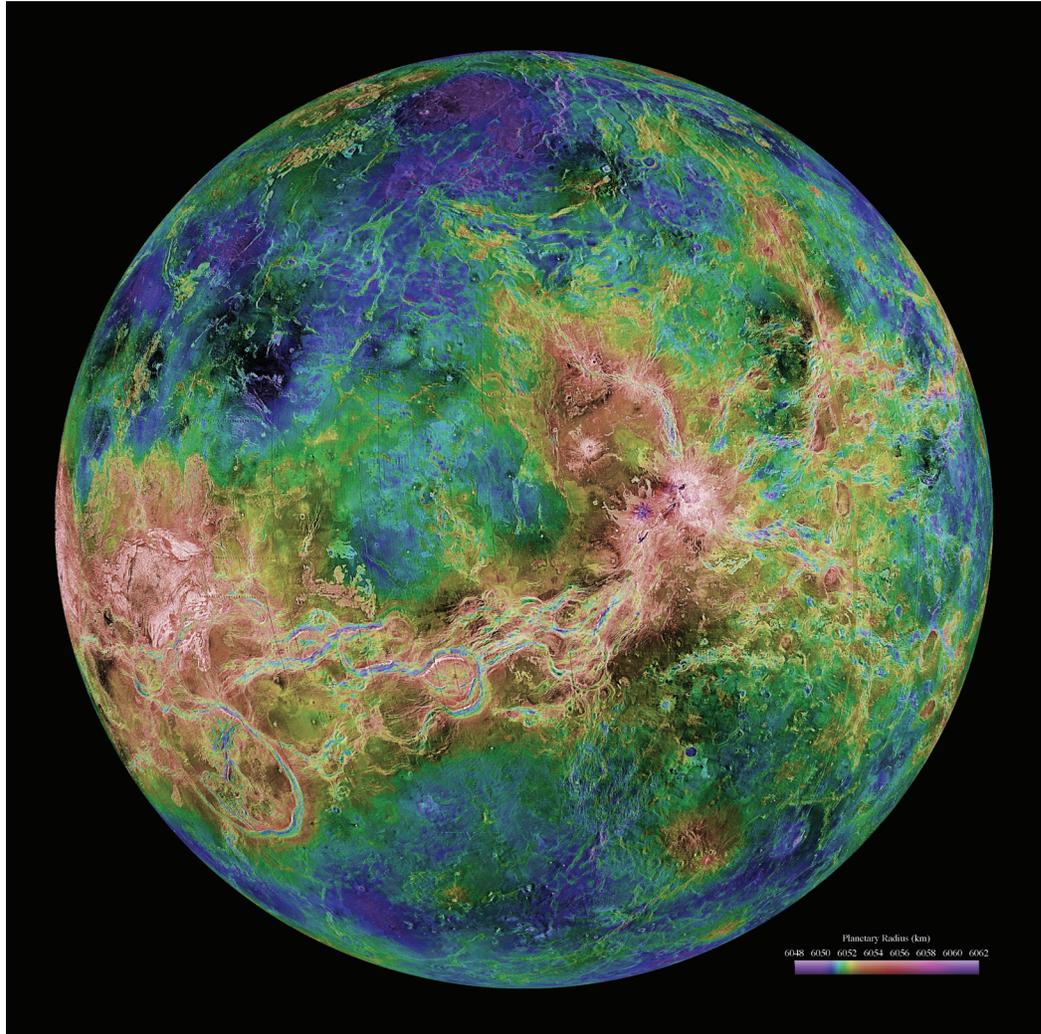
A sinistra, immagine processata da riprese di Venere scattate dalla sonda giapponese Akatsuki il 2 dicembre 2022. (JAXA/ISAS/DARTS/Kevin M. Gill)
Sotto, una bellissima immagine ripresa in falsi colori nell'ultravioletto dell'emisfero meridionale di Venere ottenuta dalla Venus Monitoring Camera (VMC) a bordo del Venus Express dell'ESA il 27 luglio 2007. (ESA/MPS/DLR/IDA)



Qui sotto. Questa immagine, generata al computer utilizzando i dati radar della sonda spaziale Magellano, inquadra al centro Sapas Mons, un grande vulcano nella regione Atla Regio di Venere. Le sue colate laviche si estendono per centinaia di chilometri attraverso le pianure. Sull'orizzonte Maat Mons un altro grande vulcano. (JPL/NASA)



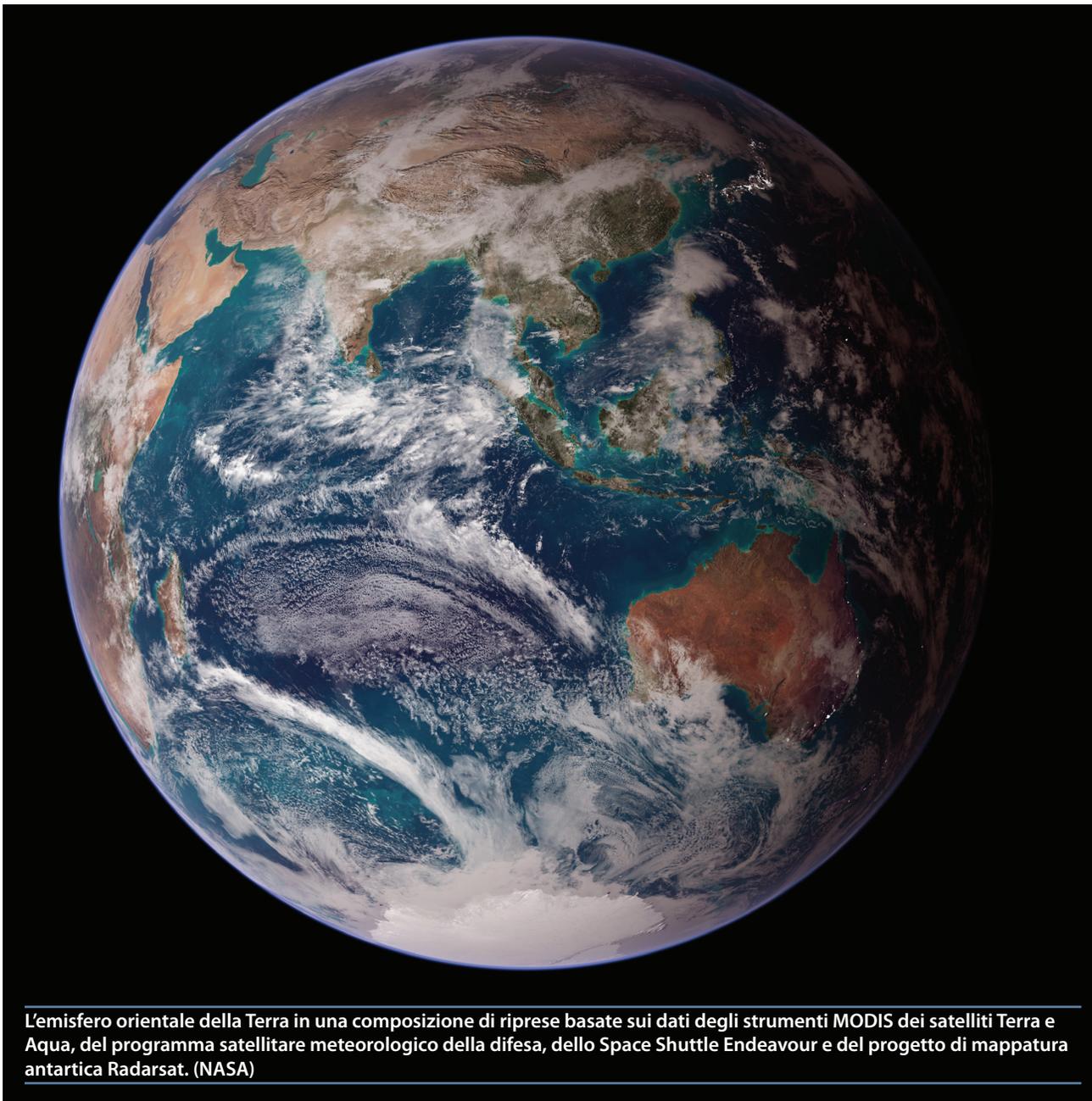
Un mosaico di immagini dell'emisfero di Venere centrato a 180 gradi di longitudine Est rivelato da indagini radar culminate nella missione Magellano del 1990-1994. La sonda Magellano ha ripreso più del 98% di Venere con una risoluzione di circa 100 m. (NASA/JPL/USGS)



TERRA

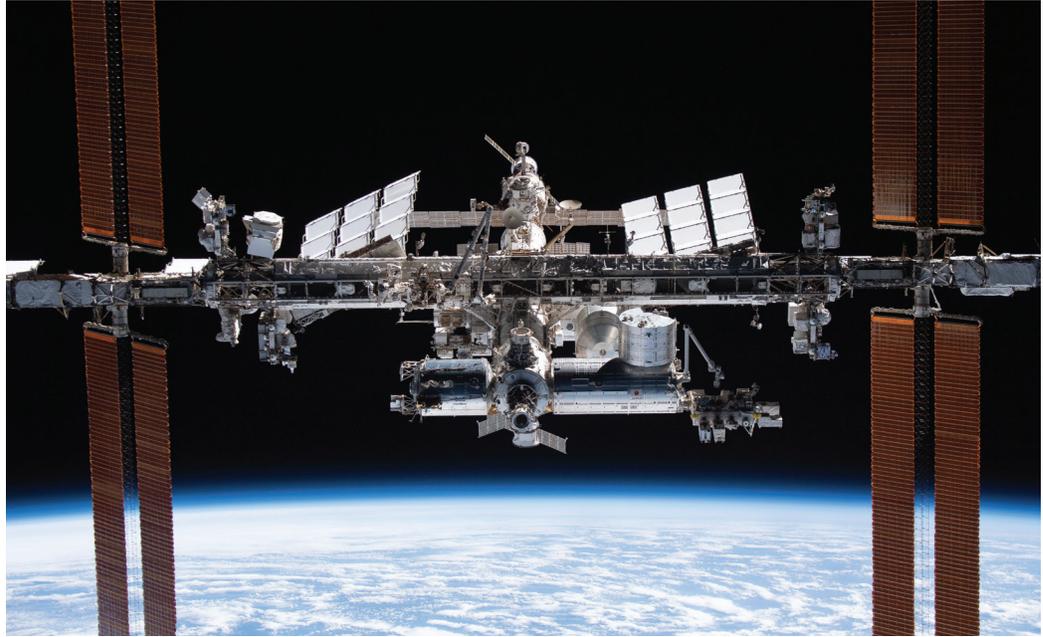
Superata Venere, la luce irradiata dal Sole giunge a riscaldare la Terra: un viaggio che in 8 minuti e mezzo circa le ha permesso di superare i 150 000 000 di chilometri che separano il nostro pianeta dall'astro centrale. Quante differenze tra il nostro pianeta e quel-

li che abbiamo visto finora e che vedremo in seguito! Quale ricchezza di particolari nelle immagini che lo ritraggono dall'esterno, scattate durante le imprese spaziali. Un'atmosfera di tonalità azzurrina lo avvolge, sfumando i particolari osservabili verso i bordi del disco. Costituita prevalentemente di azoto (78%



L'emisfero orientale della Terra in una composizione di riprese basate sui dati degli strumenti MODIS dei satelliti Terra e Aqua, del programma satellitare meteorologico della difesa, dello Space Shuttle Endeavour e del progetto di mappatura antartica Radarsat. (NASA)

Nel novembre 2021 la navetta spaziale SpaceX Crew Dragon Endeavour ha ripreso la Stazione Spaziale mentre stava volando circa 400 km sopra le Isole Marshall nell'Oceano Pacifico. (NASA)



Nel dicembre 2021 l'astronauta Thomas Marshburn ha catturato questa ripresa del pianeta Terra mentre, agganciato al braccio robotico Canadarm2 conduceva attività extraveicolare per sostituire un sistema di antenna guasto. La Terra era circa 400 km sotto di lui. (NASA)



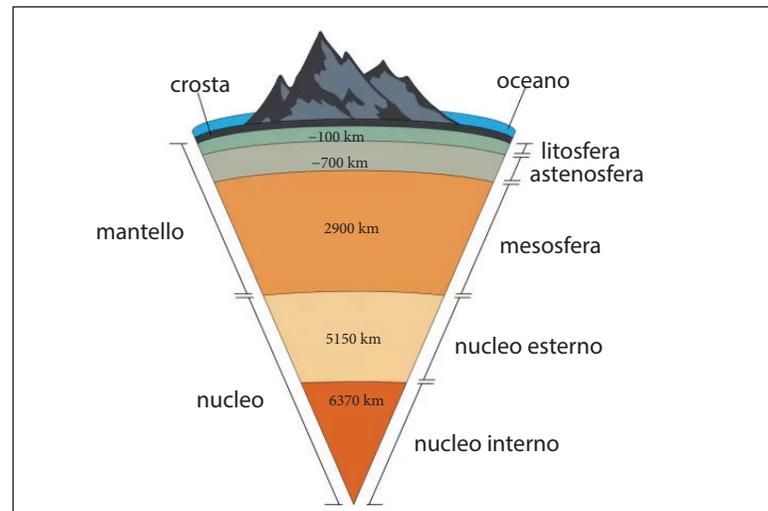
in volume) e di ossigeno (21%) essa porta in sospensione minutissime gocce d'acqua che costituiscono le nubi. Di forma continuamente cangiante, come possiamo verificare dopo pochi minuti di osservazione, le nubi rendono appariscenti i movimenti dell'atmosfera pur non riempiendola completamente ma lasciando intravedere da fuori ampi particolari della superficie terrestre. La parte emersa della litosfera, un insieme di grandi e piccole porzioni di crosta solida, si innalza al di sopra delle acque ma in realtà si estende anche al di sotto di esse a costituire il fondo dell'idrosfera. È questa un insieme eterogeneo costituito dalle acque degli oceani e dei mari, che si presentano di colore blu molto intenso, ma anche da tutti i corsi d'acqua, dai laghi e dall'umidità dispersa nell'aria. Un quarto insieme, quello degli organismi viventi, costituisce la biosfera e rende il nostro pianeta, a quanto risulta attualmente, unico nel Sistema Solare a ospitare la vita nelle sue molteplici forme. Pochi elementi (carbonio, idrogeno, ossigeno, azoto e pochi altri) distribuiti in un guscio di appena 20 km di spessore, fra le fosse delle Marianne e il Monte Everest, si sono combinati per produrre una straordinaria varietà di molecole.

Le tracce di crateri in superficie sono rare, analogamente a quanto osservato su Venere, essendo la litosfera caratterizzata da formazioni differenziate come pianure, altipiani, catene montuose che si innalzano fino a più di 8000 metri sul livello del mare. Al di sotto di questo livello i fondi oceanici scendono fino a 5-10 000 metri, costituendo la parte più fragile della crosta terrestre, soggetta, come vedremo, a catastrofici eventi che ne modificano

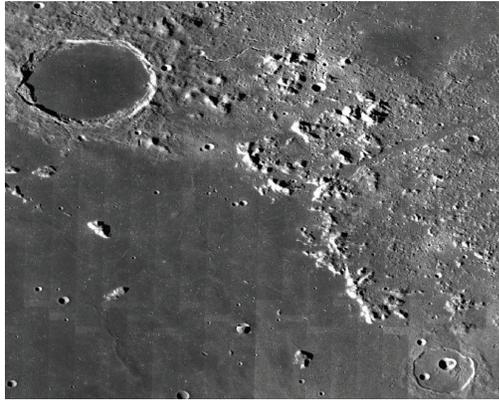
in continuazione l'aspetto esteriore (*si veda lo schema della struttura interna della Terra proposto qui sotto*).

I fenomeni che modificano la forma e la struttura della superficie terrestre sono di due tipi: endogeni (es. tettonica a zolle) ed esogeni (es. meteorologici). La crosta terrestre (5-70 km di spessore, più elevato sotto le montagne) "galleggia" sullo strato malleabile della astenosfera, una parte del mantello dove sono presenti cospicue percentuali di magmi. Porzioni della crosta (zolle) si comportano come zattere che si muovono sopra l'astenosfera. I movimenti delle zolle sono determinati da eruzioni vulcaniche che sollevano e frammentano la crosta, oppure la fanno sprofondare sotto una crosta adiacente (subduzione). Questi atti fanno scomparire crosta vecchia o apparire crosta nuova: questo succede nella costa Pacifica delle due Americhe, con sollevamento della catena delle Ande. Lo scontro fra due zolle molto spesse solleva immensi altipiani, come

Schema della struttura interna della Terra.



Sulla Luna, tra il cratere Plato (in alto a sinistra) e il cratere Cassini (in basso a destra) si trova la catena dei Montes Alpes. Questa porzione di immagine è tratta dai dati del Lunar Reconnaissance Orbiter. (NASA)



accade all'Himalaya in risposta allo scontro tra India e Asia.

L'azione dei venti, delle piogge e del ghiaccio erode le strutture superficiali modificandone continuamente le forme. Infine la vegetazione ricopre, modella e sbriciola strutture superficiali che diventano rapidamente irriconoscibili. Il 90% della superficie terrestre è più giovane di circa 300 milioni di anni, contro un'età del pianeta di circa 4,54 miliardi di anni.

La Terra è il primo pianeta che incontra-

Questa immagine è un mosaico di 18 riprese catturate dalla sonda Galileo attraverso un filtro verde. In alto a sinistra è visibile il Mare Imbrium scuro e pieno di lava; al centro a sinistra è il Mare Serenitatis e, in basso a sinistra, il Mare Tranquillitatis. Il Mare Crisium è l'elemento circolare scuro verso il basso del mosaico. Sono visibili anche le scure pianure laviche dei bacini Marginis e Smythii in basso a destra. Al centro dell'immagine si vede il bacino di Humboldtianum, una struttura da impatto lunga 650 chilometri (400 miglia), parzialmente riempita di scuri depositi vulcanici. Il Polo Nord della Luna si trova appena all'interno della zona d'ombra. (NASA/JPL/USGS)



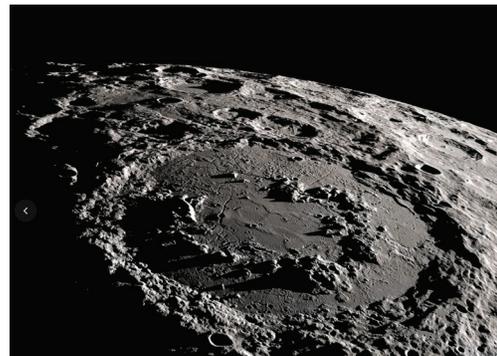
mo dall'inizio del nostro viaggio a possedere un satellite che le gira attorno, alla distanza di circa 1 secondo-luce (384 000 km). La Luna ha un diametro di circa 3500 km e rivela una superficie cosparsa di crateri. Ampie porzioni della crosta lunare sono però differenziate dal resto della superficie, sia per il colore scuro che per la minore craterizzazione, tanto da aver richiamato alla mente dei primi osservatori l'aspetto dei mari terrestri da cui hanno preso il nome. In realtà sulla Luna non esiste acqua e queste grandi distese scure non sono altro che immense pianure formate da colate laviche fluite per centinaia di chilometri prima di solidificare.



La regione polare Nord della Luna in una ripresa ottenuta dalla sonda Galileo della NASA durante il sorvolo del sistema Terra-Luna il 7 e 8 dicembre 1992. In alcuni di questi crateri, e in altri del Polo Sud, dove non giunge mai la luce solare sono stati osservati depositi di ghiaccio d'acqua. (NASA/JPL)



A sinistra. Nel 1994 la navicella spaziale Clementine della NASA ha ripreso spettacolari immagini della Luna. Oltre alle telecamere per la mappatura geologica, la Clementine trasportava anche due telecamere per la navigazione. Queste telecamere mantenevano la navicella spaziale sulla rotta osservando costantemente le posizioni delle stelle, ricordando l'antica tradizione marinara della navigazione sestante/stellare, ma dovevano anche scattare alcune immagini grandangolari della Luna. In questa ripresa la Luna è illuminata esclusivamente dalla luce riflessa dalla Terra. Il bagliore luminoso sull'orizzonte lunare è causato dalla luce della corona solare; il Sole è appena dietro il lembo lunare. In questa immagine è ripreso anche il pianeta Venere nella parte superiore dell'inquadratura. (NASA/JPL/USGS)



Il cratere Schrodinger e il Polo Sud lunare, fotografati dalla Lunar Reconnaissance Orbiter Camera (LROC). (NASA)

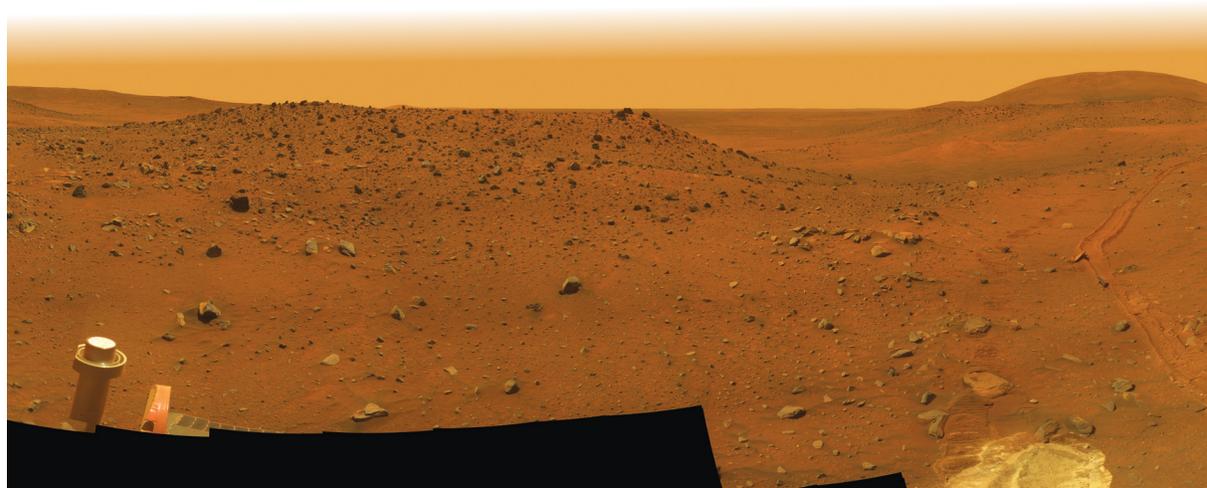
In basso, questa ripresa della telecamera panoramica (Pancam) sul Mars Exploration Rover Spirit della NASA mostra il terreno che circonda la località "Troy", dove il rover Spirit si è incastrato nel terreno soffice durante la primavera del 2009. Il Nord è al centro; il Sud ad entrambe le estremità. Il bordo occidentale del basso alpiano chiamato Home Plate domina la metà destra del panorama. All'estrema destra c'è un tumulo dalla cima luminosa chiamato "Von Braun". Vicino al centro, in lontananza, si trova Husband Hill. La composizione dei diversi strati del terreno è diventata oggetto di un'intensa indagine. Il team Pancam ha chiamato questa scena Calypso Panorama. Questa versione è un panorama composito generato da immagini scattate attraverso i filtri da 750 nanometri, 530 nanometri e 480 nanometri della Pancam. Questa visione a "colori naturali" è la migliore stima del team di come sarebbe la scena se fossimo lì e potessimo vederla con i nostri occhi. (NASA/JPL-Caltech/Cornell University)

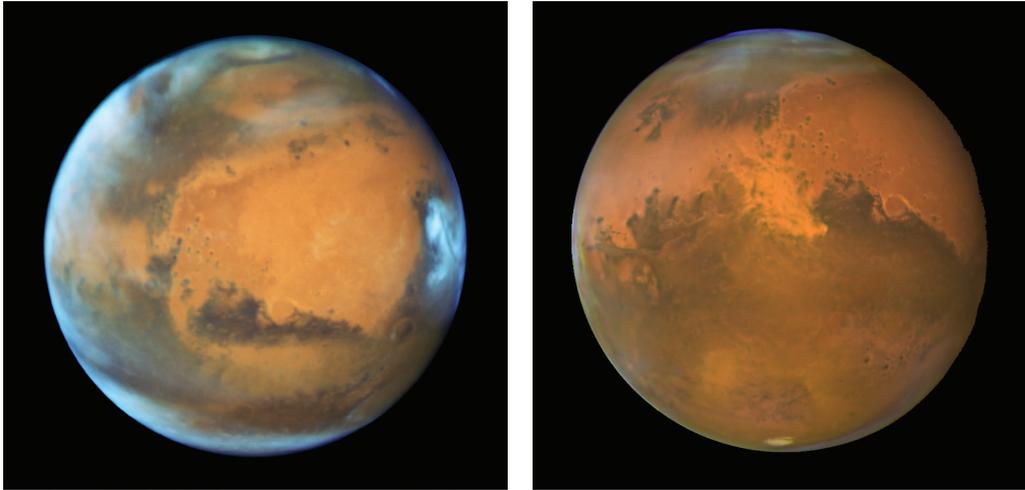
MARTE

Anche la superficie di Marte, il pianeta successivo alla Terra che gira intorno al Sole in 687 giorni alla distanza media di 228 000 000 km, è differenziata come quella lunare. Accanto a regioni densamente craterizzate si osservano porzioni di superficie dominate da formazioni di tipo terrestre quali ampie vallate ed edifici vulcanici. Una tenue atmosfera, costi-

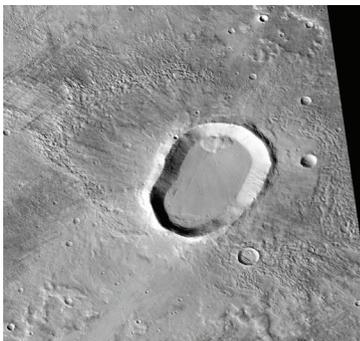
tuita principalmente di anidride carbonica, avvolge il pianeta che rivela anche evidenti tracce d'acqua nelle nubi e nelle calotte polari permanenti che vengono stagionalmente coperte da calotte più ampie formate di anidride carbonica solida (ghiaccio secco). Queste ultime appaiono dissolversi nei mesi estivi e riformarsi nei mesi invernali che si susseguono su Marte in analogia con i cicli stagionali

Le osservazioni dello spettrometro CRISM (Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars) a bordo di Mars Reconnaissance Orbiter della formazione Noctis Labyrinthus hanno registrato la presenza di solfati contenenti ferro e minerali fillosilicati (argillosi). Le osservazioni di HiRISE (High Resolution Imaging Science Experiment) hanno rivelato strati esposti che potrebbero essere all'origine delle tracce viste da CRISM. (NASA)





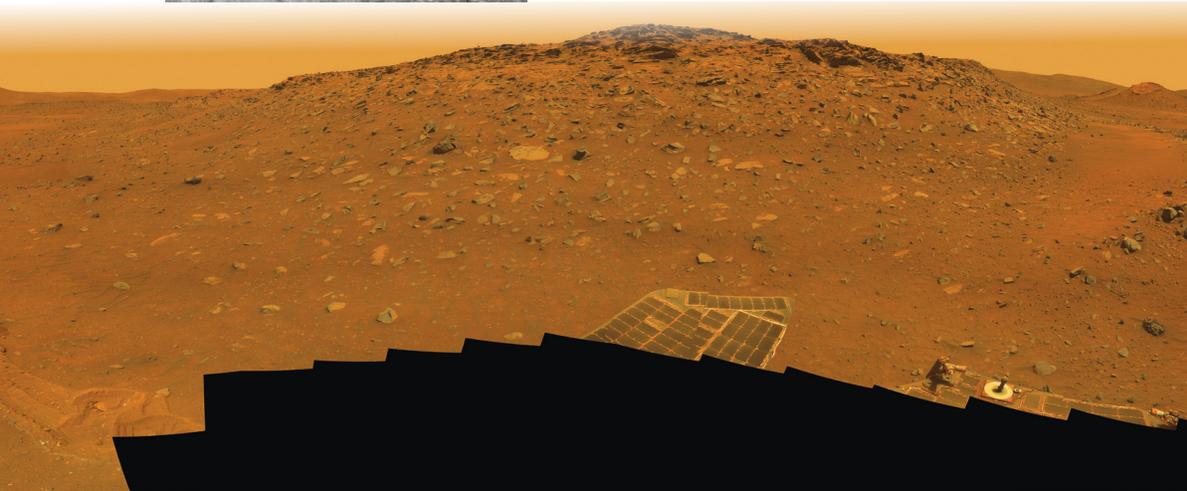
Due immagini riprese dal telescopio spaziale Hubble. A sinistra, Marte il 12 maggio 2016. A destra, il 28 ottobre 2005. In questa ripresa si nota una vasta tempesta di sabbia in prossimità dell'equatore del pianeta. (NASA, ESA, The Hubble Heritage Team (STScI/AURA), J. Bell (Cornell University) and M. Wolff (Space Science Institute))



A sinistra. Il cratere Chatterat su Marte ripreso dalla sonda Mars Reconnaissance Orbiter. (NASA)



Phobos (a sinistra) e Deimos (sotto) ripresi dal Mars Reconnaissance Orbiter della NASA con lo strumento HiRISE rispettivamente nel 2008 e nel 2009. (NASA/JPL-caltech/University of Arizona)



terrestri a causa di una analoga inclinazione dell'asse di rotazione (circa 24°) sul piano dell'orbita descritta intorno al Sole.

Un ulteriore elemento di somiglianza con il nostro pianeta è rappresentato dalla durata del giorno (poco più di 24 ore) mentre per quanto riguarda le dimensioni Marte ha un diametro che non supera la metà di quello terrestre.

Dallo studio del moto del pianeta Marte, possibile grazie alle accurate osservazioni fattene da Tycho Brahe, Keplero ricavò le prime due famose leggi. Della prima è già stato detto, mentre il trattamento della seconda legge sarà fatto più avanti. Qui ci occuperemo della terza legge la quale afferma che il rapporto tra il cubo del semiasse maggiore dell'orbita di un pianeta, indicato con a , e il quadrato del suo periodo di rivoluzione (P) è costante indipendentemente dal pianeta preso in considerazione. Il valore di a è espresso in Unità Astronomiche (UA), unità convenzionale corrispondente alla distanza media Terra-Sole che è di 149 597 870 km. Una tabella costruita con i dati relativi ai pianeti visibili a occhio nudo illustra la validità della legge:

Pianeta	a (UA)	P (anni)	a^3 / P^2
Mercurio	0,3871	0,24085	0,9999
Venere	0,7233	0,61521	0,9998
Terra	1,00000	1,00000	1,00000
Marte	1,5237	1,8809	0,9999
Giove	5,2026	11,8622	1,0008
Saturno	9,5547	29,4577	1,0052

Il livello di validità sperimentale della terza legge di Keplero è tale da consentirne un'utilizzazione inversa, cioè a calcolare la distanza media di un pianeta dal Sole (o di un qualsiasi corpo in orbita attorno a un altro) una volta che ne sia stato determinato il periodo di rivoluzione. Sul piano teorico essa è stata pienamente giustificata da Newton.

Una legge empirica curiosa relativa alle distanze dei pianeti dal Sole fu trovata, senza che finora siano emerse interpretazioni teoriche, da Titius e Bode nel Settecento:

$$a = 0,4 + 0,3 \cdot 2^n$$

dove a è espresso in Unità Astronomiche ed n assume i valori che la tabella qui sotto, immaginata verso la fine del 1700, fornisce:

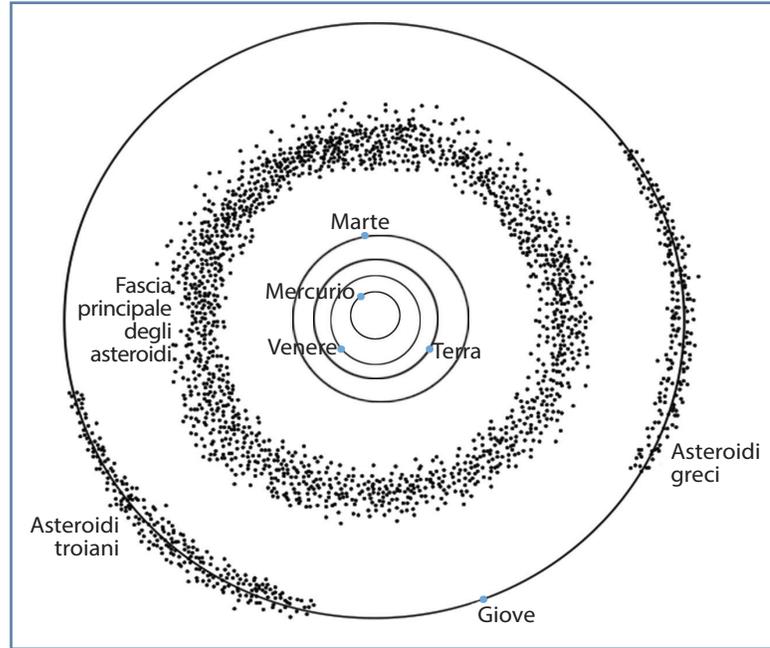
Pianeta	n	a (calcolato)	a (osservato)
Mercurio	$-\infty$	0,4	0,387
Venere	0	0,7	0,723
Terra	1	1,0	1,000
Marte	2	1,6	1,524
X	3	2,8	?
Giove	4	5,2	5,203
Saturno	5	10,0	9,555

Si noti la lacuna in corrispondenza di un ipotetico pianeta X tra Marte e Giove, di cui all'epoca non si avevano informazioni. Fu proprio

a 2,767 UA dal Sole che il palermitano Piazzi scoprì, nel 1801, Cerere, un piccolo pianeta che sembrò colmare la lacuna e coronare di dignità la legge di Titius-Bode. In realtà il momento di gloria fu breve poiché altri pianetini disseminati in un'ampia regione del Sistema Solare vennero scoperti in seguito, talmente numerosi che il loro studio è diventato quasi una caccia. L'insieme dei pianetini disposti tra Marte e Giove costituisce come un anello, essenzialmente piatto e molto ampio, intorno al Sole e ciascuno di loro non deve essere molto diverso d'aspetto dai satelliti di Marte o dai meteoriti che incessantemente cadono sul nostro pianeta. Quando si tratta di corpi di qualche millimetro di diametro, il calore sviluppato dall'attrito con l'atmosfera nella quale penetrano a grande velocità (10-70 km/s) è sufficiente a bruciarli in un guizzo che chiamiamo "stella cadente". Se le dimensioni superano la decina di centimetri il fenomeno assume toni drammatici, accompagnato da rumore di tuono e scoppi, e una parte del corpo giunge a terra, dove scava una buca (cratere meteorico) di diametro 10-20 volte più grande del proprio.

GIOVE

Oltre la fascia dei pianetini troviamo Giove, il più grande tra i pianeti, tanto che la Terra troverebbe comodamente posto due volte all'interno della Grande Macchia Rossa, un ciclone tropicale che da qualche secolo turbinava nell'atmosfera irrequieta di questo pianeta. Questa, costituita essenzialmente di idrogeno e di elio, contiene tracce di metano, ammoniaca e altri composti. Le differenti colorazioni sono pro-



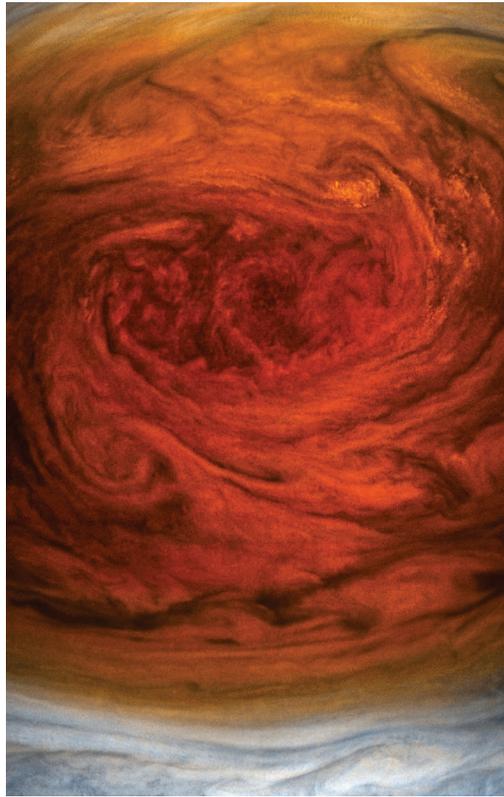
Sopra. Gli asteroidi della fascia principale sono quelli che incontriamo tra le orbite di Marte e Giove. Lungo l'orbita di Giove sono distribuite due famiglie di asteroidi (greci e troiani) attratti dalla coppia Giove-Sole intorno a punti detti Lagrangiani.

A lato, l'atmosfera di Giove ripresa dal Voyager 1 nel 1979. In alto a destra la Grande Macchia Rossa. (NASA, Caltech/JPL)

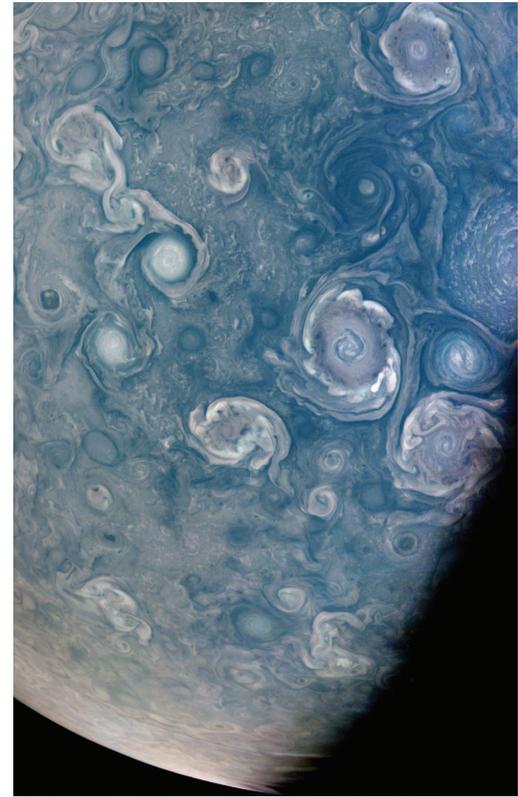
tabilmente legate a composti chimici molto differenziati. Cospicuo il corteggio di satelliti (95) che Giove possiede, tra i quali i quattro maggiori, scoperti da Galileo, hanno dimensioni planetarie.

Giove è il primo di quattro pianeti gigante-

Qui a lato. La Grande Macchia Rossa sulla superficie di Giove, ripresa dalla navicella spaziale Juno della NASA l'11 luglio 2017. Juno si trovava a una distanza di 8000 km dal pianeta. (NASA / SwRI / MSSS / Gerald Eichstädt / Seán Doran)



A destra. Mentre la missione Juno completava il suo 43esimo sorvolo ravvicinato di Giove il 5 luglio 2022, lo strumento JunoCam ha catturato questa sorprendente immagine dei vortici vicino al Polo Nord del pianeta. Queste potenti tempeste possono superare i 50 chilometri di altezza e centinaia di miglia di larghezza. Capire come si formano è la chiave per comprendere l'atmosfera di Giove, così come la dinamica dei fluidi e la chimica delle nuvole che creano le altre caratteristiche atmosferiche del pianeta. Gli scienziati sono particolarmente interessati alle diverse forme, dimensioni e colori dei vortici. Ad esempio, i cicloni, che ruotano in senso antiorario nell'emisfero settentrionale e in senso orario in quello meridionale, e gli anticicloni, che ruotano in senso orario nell'emisfero settentrionale e in senso antiorario nell'emisfero meridionale, presentano colori e forme molto diversi. (NASA)



schi, caratterizzati da una veloce rotazione (tra 10 e 18 ore) e da una costituzione più simile a quella del Sole che a quella dei quattro pianeti interni, o di tipo terrestre, visti finora. Né Giove né gli altri sono stelle, non possedendo abbastanza materia e non essendo raggiunta nel loro nucleo la temperatura necessaria a realizzare la fusione dell'idrogeno.

SATURNO, URANO E NETTUNO

Saturno, Urano e Nettuno possiedono numerosi satelliti (146, 27 e 14, rispet-

tivamente) e, come Giove, complicati sistemi di anelli. Si tratta, come nel caso della fascia dei pianetini, di materiale non coagulato in un unico corpo (satellite o pianeta rispettivamente) ma suddiviso in ciottoli da qualche metro ad alcuni chilometri di diametro, che da 4,6 miliardi di anni percorrono orbite pressoché circolari. Le densità dei pianeti gioviani sono comprese tra 0,7 (Saturno galleggerebbe sull'acqua) e 1,7 kg/dm³ contro 3,9-5,5 kg/dm³ tipici dei pianeti interni.

PLUTONE

La luce solare deve viaggiare 5,5 ore prima di lambire la superficie di Plutone, un corpo così insignificante e remoto che fino al 2006 faceva parte dei pianeti ma poi è stato declassato a pianeta nano: nella stessa categoria ora sono inseriti Cerere, Haumea, Makemake e Eris, gli ultimi tre essendo i maggiori tra le centinaia di corpi trans-nettuniani scoperti a partire dal 1992.

Quando, nel 1978, venne osservato un satellite di Plutone, denominato Caronte, si riuscì finalmente a svelarne alcune caratteristiche. Si seppe in tal modo che Plutone non è più grande della nostra Luna ed è molto meno massiccio, essendo costituito probabilmente di metano e ammoniaca ghiacciati.

OLTRE PLUTONE

In realtà il Sistema Solare non si esaurisce con i corpi trans-nettuniani, ma si estende molto al di là delle 6 ore-luce di Plutone o alle 100 ore-luce della fascia dei trans-nettuniani (la cosiddetta fascia di Kuiper), là fino a dove l'attrazione gravitazionale del Sole riesce a prevalere su quella di altre stelle, fino a distanze dell'ordine di qualche anno-luce dove la luce emessa dal nostro astro illumina fiocamente uno sterminato numero di nuclei cometari. Si tratta di modesti blocchi di ghiaccio d'acqua, mescolato a metano, ammoniaca e sabbia, che avvicinandosi al Sole vaporizzano producendo quegli enormi ed evanescenti corpi che sono le code cometarie. Alcune comete restano intrappolate tra i pianeti e passano periodicamente nelle vicinanze del Sole; altre gli sfrecciano vicino per ritornare poi nelle remote regioni dalle quali provengono; altre co-



La sonda spaziale New Horizons della NASA ha ripreso questa immagine di Plutone nel luglio 2015. (NASA/JHUAPL/SwRI/AndreaLuck)



mete infine, le più numerose, restano perennemente confinate ai bordi del Sistema Solare a formare la cosiddetta Nube di Oort.

Varcati questi ultimi confini, la luce partita dal Sole qualche anno prima entra nella sfera d'azione di altre stelle, quei punti scintillanti che popolano il cielo notturno. Le informazioni che di questi possediamo derivano sostanzialmente da una sola tecnica: lo studio

Quando si osserva un corpo girare attorno a un altro, i due essendo legati dalla forza di gravità, si può determinarne la massa totale applicando la relazione di Newton:

$$\frac{a^3}{P^2} = \frac{G}{4\pi^2} (M + m)$$

nella quale appaiono, oltre ai già noti a e P , la costante di gravitazione universale ($G = 6,6743/100\ 000\ 000\ 000\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$, $N = \text{Newton} = \text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ e le masse (M ed m) dei due corpi. Nel caso in cui m sia molto piccola rispetto ad M la relazione diventa:

$$\frac{a^3}{P^2} = \frac{G}{4\pi^2} M$$

dalla quale si ricava agevolmente la massa del corpo centrale (es. un pianeta) noti il periodo di rivoluzione P e la distanza media a di un suo satellite (purché di massa trascurabile rispetto a quella del pianeta).

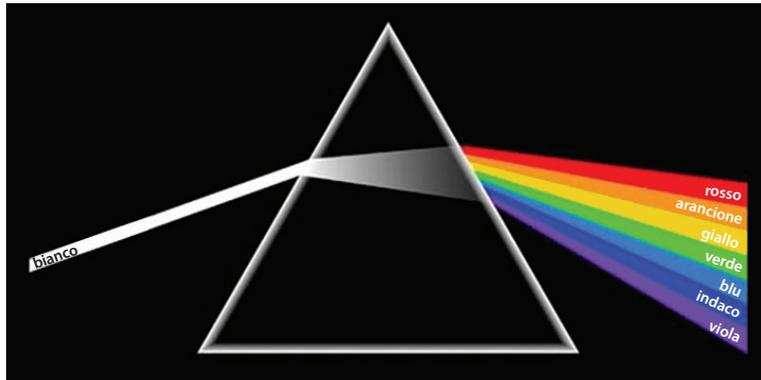
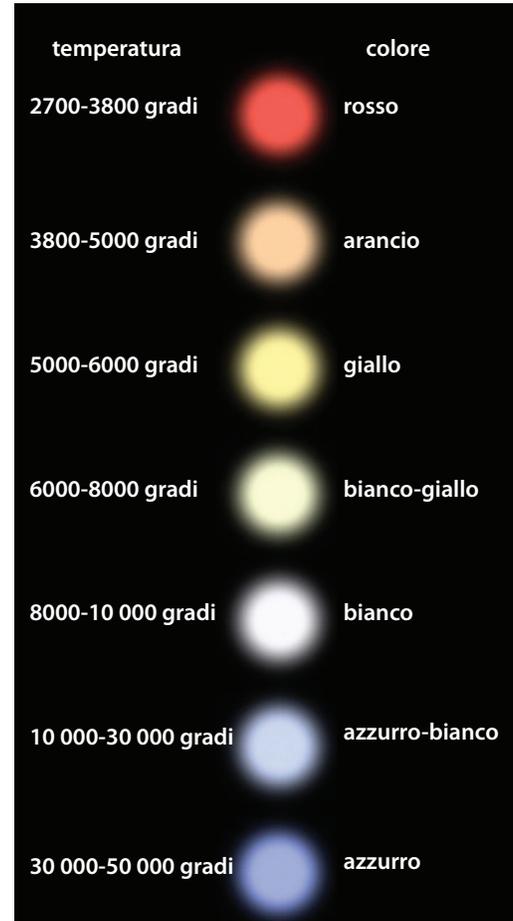


Fig. 5. Lo spettro continuo.

A destra, Fig. 6. Il rapporto tra colore e temperatura.

della loro luce tramite la spettroscopia. La luce che il nostro occhio percepisce è un miscuglio di colori che può essere scomposto tramite un prisma (o un reticolo), secondo uno dei classici esperimenti di Newton. Analizzando la luce emessa da un corpo denso (solido, liquido o gas compresso) portato ad alta temperatura (vedi fig. 5) osserviamo tutti i colori possibili popolare con continuità una fascia detta «spettro continuo». Misurando l'intensità luminosa lungo la fascia si osserva che uno tra i colori presenta una massima brillantezza: Planck riuscì a collegare questo comportamento con la natura stessa dell'energia che viene scambiata per quantità discrete (quanti). A ogni colore del massimo corrisponde un ben definito valore della temperatura del corpo emittente, come indicato in fig. 6. Se ad emettere la luce è un gas rarefatto, dopo la scomposizione vengono trovati solo alcuni e ben definiti colori in uno spettro detto «a righe» (vedi fig. 7). Tali righe costituiscono un preciso messaggio sulla natura chimica del corpo emittente: come ogni individuo ha le sue impronte digitali, così ogni specie chimica possiede un proprio spettro a righe, non confondibile con quello di altre specie.



Dallo studio dello spettro della luce solare è stata dedotta la composizione chimica già descritta e la temperatura della superficie brillante, detta fotosfera. Gli spettri della luce di altre stelle rivelano che esse hanno una composizione sostanzialmente identica a quella solare e una temperatura superficiale che può andare da 30 000 a 3000 °C circa. I punti luminosi che popolano lo spazio sono pertanto delle stelle simili al nostro Sole. Ma quanto distanti da noi?

Il problema della misura delle distanze stellari affonda le radici nel mondo ellenico, nelle misurazioni della Terra e delle distanze entro il Sistema Solare. Tramite considerazioni geometriche analoghe a quelle di Aristarco da Samo si possono lanciare immensi triangoli verso lo spazio che abbiano nella distanza Terra-Sole (Unità Astronomica) la loro base conosciuta. Malgrado l'uso di una base così gigantesca, il triangolo lanciato verso la stella più vicina a noi, denominata Proxima Centauri, ha gli angoli in T e S (vedi fig. 8) molto prossimi a 90° e quello in P è così piccolo da essere misurabile in secondi d'arco (è questa la 1 296 000 parte di un angolo giro, 360°): nel caso di Proxima Centauri l'angolo in P vale $0,754''$ (parallasse). A quale distanza si trova questa stella da noi? ◊
Possiamo scegliere a questo punto il modo migliore per esprimere D:

- 1) in chilometri:
 $206\,265 : 149\,566\,000 / 0,754 = 40\,915\,425\,720\,000$ km;
- 2) in tempo-luce:
 $40\,915\,425\,720\,000$ km / $300\,000$ km/s = $136\,384\,752,4$ s = 4,32 anni-luce;

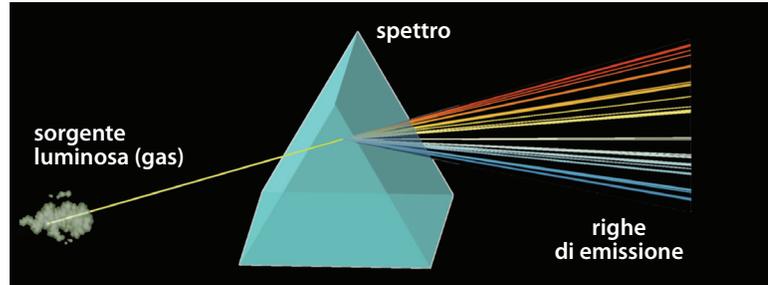


Fig. 7. Lo spettro a righe.

- 3) in una nuova unità di misura lunga $206\,265 \cdot \text{UA}$ km e chiamata parsec:
 $1/0,754'' = 1,33$ parsec.

Dagli ultimi due modi di misurare si deduce:

$$1 \text{ parsec} = 3,26 \text{ anni-luce}$$

e pertanto le misure in parsec saranno circa $1/3$ delle misure in anni-luce.

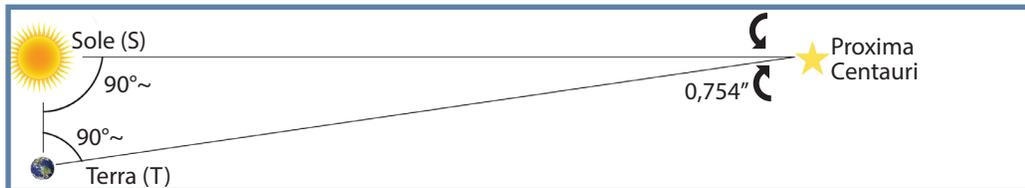
Se a questo punto rivolgessimo indietro lo sguardo alla ricerca del Sole dal quale siamo partiti non riusciremmo a distinguerlo tra le migliaia di punti luminosi che popolerebbero ancora il cielo osservabile da questo nuovo punto di vista. Ci stupirebbe anzi notare una spiccata rassomiglianza tra questo e il cielo che eravamo abituati ad ammirare da Terra. Le distanze tra le stelle sono così grandi che solo dopo aver viaggiato per migliaia di anni alla velocità della luce, ed aver incontrato da vicino solo qualche centinaio di stelle, ci ren-

◊La fig. 9 suggerisce che un angolo di $0,754''$ al centro di una ipotetica circonferenza tracciata intorno a Proxima individua alla distanza D alla quale si trova la Terra un arco UA pari all'Unità Astronomica, la base cioè del triangolo che abbiamo costruito per conoscere la distanza delle stelle. Con semplici considerazioni geometriche si può dedurre che:
circonferenza:
angolo giro = UA : $0,754''$
 $2\pi D : 1\,296\,000'' = \text{UA} : 0,754''$

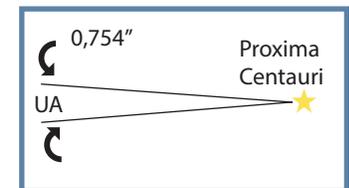
da cui si ricava la distanza D:

$$D = \frac{1\,296\,000'' \text{ UA}}{2\pi} \frac{1}{0,754''} = \frac{206\,265 \text{ UA}}{\text{parallasse}}$$

Qui sotto. Fig. 8. Il calcolo della distanza di Proxima Centauri.



Qui sotto. Figura 9.



deremmo conto di trovarci in un immenso sistema di stelle distribuite quasi uniformemente a costituire un disco del diametro di circa 100 000 anni-luce e dello spessore medio di circa 10 000 anni-luce. Disseminate tra le stelle troveremmo a volte enormi nubi di gas idrogeno ed elio (la composizione delle stelle!) rese brillanti dalla vicinanza di stelle calde e gigantesche. Queste nebulose galattiche (dette regioni H II) sono disposte lungo archi di curve che fanno assumere all'insieme l'aspetto di una girandola.

La parte centrale del disco è leggermente rigonfiata e vi abbondano dense nubi opache che ne impediscono l'osservazione, in modo che il centro della nostra isola di stelle resta ancora un luogo sulla cui natura abbiamo solo frammentarie informazioni e una imprecisa conoscenza. Una sorgente di onde radio, scoperta nel 1974 al centro della Via Lattea e denominata Sagittarius A*, si è rivelata un enorme buco nero di massa pari a 4

milioni di stelle come il Sole. Un buco nero ancora più massiccio, 6 miliardi di volte il Sole, è stato osservato all'interno nella galassia M87 (*v. avanti*) ed è stato "fotografato" nel 2022. In realtà l'immagine è una codifica colorata delle emissioni radio di questa galassia, ricevute a terra da sei stazioni molto distanti tra loro (interferometria).

Tutta la materia incontrata fin qui si muove intorno al centro della nostra Galassia: il Sole, che ne dista in media circa 27 000 anni-luce, impiega circa 230 000 000 anni a compiere un giro. Questi dati sono sufficienti, assieme alla relazione di Newton (*pag. 23*) a calcolare la massa dell'intera isola: 300 miliardi di volte quella del nostro Sole!

Questa è la Via Lattea, una tra le migliaia di miliardi di galassie che popolano l'Universo in cui viviamo. Le distanze tra le galassie sono così grandi, milioni di anni-luce, che il senso delle dimensioni si perde facilmente: anche se riducessimo il Sole a una pallina di 1,5 mm di diametro e la Terra a una di 0,013 mm (13 micron: un microbo!) in orbita a 15 centimetri, la stella più vicina sarebbe a 41 km ma la galassia più vicina (una delle Nubi di Magellano) si troverebbe a 1 500 000 km, circa quattro volte più distante della Luna! Poiché questo nostro modello è 1 000 000 000 000 di volte più piccolo della realtà è evidente come sia difficile rendersi conto pienamente della vastità dell'Universo. È quindi con una nuova consapevolezza che ci rimettiamo all'osservazione del cielo stellato, con la viva impressione di trovarci in un luogo isolato, lontanissimi da altre stelle e immensamente lontani da altre galassie.

Rappresentazione
artistica della nostra
Galassia. (NASA)



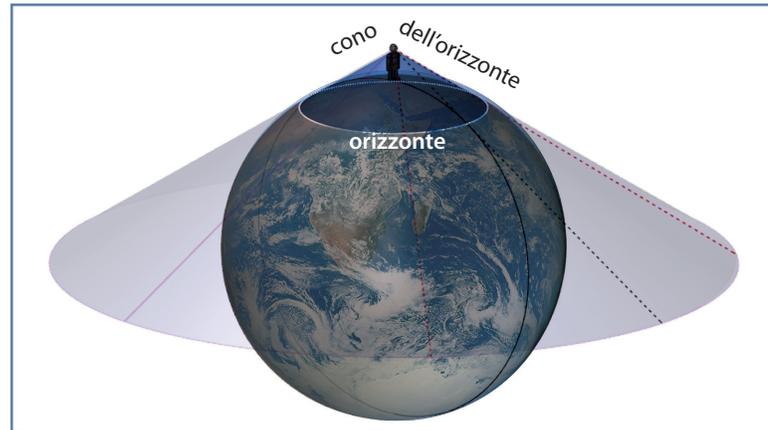
I MOTI DELLA TERRA

Il nostro pianeta è animato da un insieme di movimenti che dobbiamo conoscere in dettaglio per imparare a riconoscerne gli effetti e a valutare i rimedi.

Oltre a ruotare intorno a se stessa, la Terra gira intorno al Sole e assieme a questo si muove attorno al centro della Via Lattea. Questa è in moto disordinato ma obbediente alla gravitazione rispetto a qualche decina di altre galassie che compongono il «gruppo locale». Questo gruppo si muove rispetto agli altri gruppi in un ammasso di galassie. Moltissimi altri ammassi di galassie si allontanano gli uni dagli altri in un moto generale di espansione. Osservando in dettaglio la distribuzione su grande scala, si individuano filamenti di galassie connessi fra di loro, come i fili di una ragnatela, che racchiudono regioni sferoidali vuote di galassie.

Qui è necessario riportare i piedi per terra per occuparci solo di quei moti che influenzano direttamente la nostra esistenza, tralasciando quelli a grandissima scala che sono al di là dei nostri scopi e per i quali rimandiamo a opere citate in bibliografia.

La forma della nostra Terra (tecnicamente detta *geoide*) è con buona approssimazione sferica: trascureremo in generale il debole appiattimento polare (circa 1/300) e altre deviazioni che la rendono simile a una pera. Un qualsiasi osservatore che scruti intorno alla sua postazione scorderà una porzione di suolo grossolanamente limitata da un



cerchio che è definito orizzonte. La forma dell'orizzonte potrà discostarsi anche di molto dal cerchio in presenza di ostacoli naturali quali monti, alberi, case e così via. Per scopi astronomici ci si riferisce a un orizzonte perfettamente circolare che si vedrebbe da un punto in mezzo al mare.

Saranno visibili tutti i corpi celesti che si trovano sopra il cono che ha vertice nell'occhio dell'osservatore e che si posa sulla superficie della Terra in corrispondenza del cerchio dell'orizzonte (vedi fig. 10). In effetti l'osservatore è così vicino al suolo (normalmente) che il cono in oggetto è molto schiacciato, tanto da diventare sostanzialmente un piano infinito. Date poi le irrisorie dimensioni del nostro pianeta su scala cosmica si può fingere che il piano infinito dell'orizzonte passi circa 6400 km sotto il suolo, attraverso il centro

Fig. 10. Il cono dell'orizzonte.



Fig. 11. Universo visibile e Universo invisibile.

della Terra (fig. 11). Il piano dell'orizzonte taglia pertanto l'Universo in due emisferi: quello visibile a patto solo di alzare lo sguardo sopra l'orizzonte, e quello invisibile – sotto l'orizzonte – a causa della non trasparenza del suolo terrestre.

La posizione dell'osservatore sulla superficie della Terra determina la composizione dell'Universo visibile: da certi luoghi (es. dal Polo Nord) risulteranno visibili stelle (es. stella Polare) non osservabili da altri luoghi (es. dal Polo Sud). È pertanto indispensabile definire il luogo di osservazione, cosa che si fa tramite due coordinate: la latitudine e la longitudine. A partire da una retta che attraversa la Terra dal Polo Nord al Polo Sud (asse terrestre, fig. 12) si immagina un piano a essa perpendicolare e passante per il centro del pianeta: questo piano incontrerà la superficie terrestre in corrispondenza di un cerchio massimo chiamato equatore. Tutti i punti dell'equatore hanno latitudine 0° ; il Polo Nord ha latitudine $+90^\circ$; quello Sud -90° . La minima distanza angolare di un luogo qualsiasi dall'equatore è definita latitudine e si può misurare lungo un arco di cerchio che, partendo dal Polo più vicino, passi per il luogo in esame, intersechi perpendicolarmente l'equatore e termini al Polo opposto. Questo arco è definito meridiano (fig. 12).

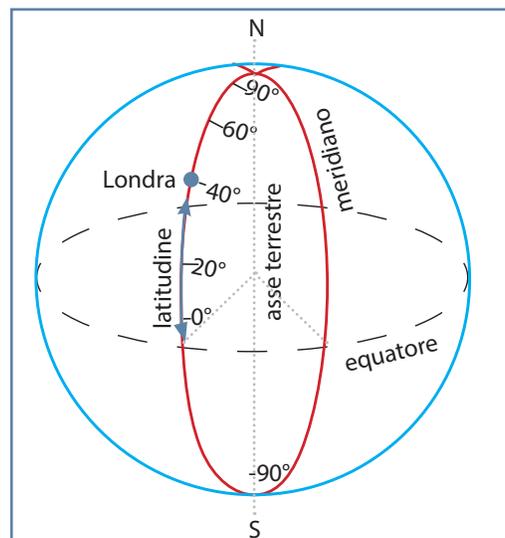
Tra tutti i cerchi meridiani ne è stato scelto uno di riferimento, quello che passa per Greenwich, un sobborgo di Londra sede di un storico Osservatorio Astronomico. Si definisce longitudine

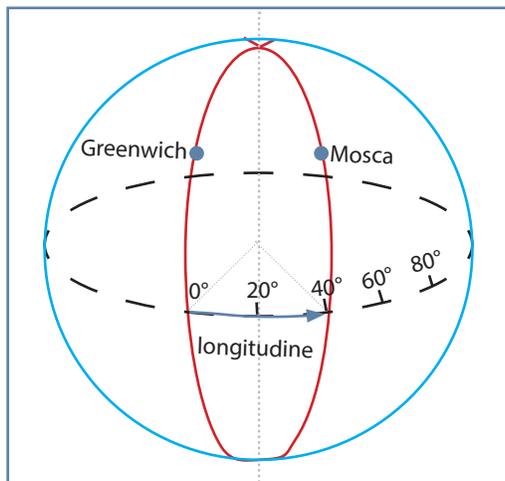
l'angolo, misurato dal centro della Terra, che si trova tra il meridiano di Greenwich e quello passante per il luogo di osservazione (fig. 13). Si misura da 0° a 180° verso Est (positiva) e verso Ovest (longitudine negativa).

Il reticolo costituito da equatore e meridiani può essere idealmente trasferito sulla sfera celeste immaginando di osservare l'Universo dal centro di una Terra trasparente. La proiezione verso le stelle dell'equatore sarà un cerchio massimo chiamato equatore celeste, mentre la proiezione dei meridiani darà luogo a un'infinità di cerchi orari, tutti perpendicolari all'equatore celeste e passanti per i due Poli celesti.

La distanza di un astro dall'equatore celeste, misurata in gradi e sottomultipli lungo il minimo arco di cerchio orario è detta Declinazione (δ). L'angolo com-

A destra. Fig. 12. Rappresentazione della Terra ed esempio di misura della latitudine di Londra.





preso tra il cerchio orario passante per l'astro e uno particolare scelto come origine (*per i motivi della scelta v. avanti*) viene detto Ascensione Retta (AR). Invece che in gradi, l'Ascensione Retta viene misurata in ore, minuti e secondi, da 0h a 24h, in senso antiorario visto da Nord (*fig. 14*).

L'intersezione tra l'equatore celeste e il meridiano 0h, origine delle ascensioni rette, è detto punto d'Ariete. Sfortunatamente in quest'epoca esso non è in vicinanza di una stella particolarmente brillante da essere facilmente identificabile. Per un osservatore posto al Polo Nord terrestre l'orizzonte coinciderà con l'equatore celeste e sulla sua testa (Zenit, direzione del filo a piombo) si troverà il Polo Nord Celeste (*fig. 15*). Trascinato inconsciamente dal moto di rotazione della Terra, l'osservatore sarà costretto a volgere lo sguardo verso stelle di Ascen-

sione Retta crescente: egli avrà l'impressione che siano le stelle a muoversi, verso la sua destra, percorrendo cerchi paralleli all'equatore e perciò all'orizzonte. Trascorse 24 ore di un tempo che chiameremo siderale l'osservatore si ritroverà di fronte le stelle viste all'inizio della lunga seduta osservativa. In questo arco di tempo si saranno rese osservabili stelle di qualsiasi Ascensione Retta ma che hanno declinazione compresa tra l'equatore (orizzonte; $D = 0^\circ$) e il Polo Nord Celeste (Zenit; $D = +90^\circ$). Da un Polo terrestre sarà visibile pertanto sempre e solamente metà Universo.

Per un osservatore posto all'equatore e rivolto verso il Polo Nord Celeste, che verrà a trovarsi sull'orizzonte, il moto apparente della sfera celeste farà muovere le stelle come illustrato in *fig. 16*. Tutti gli astri sorgono perpendicolar-

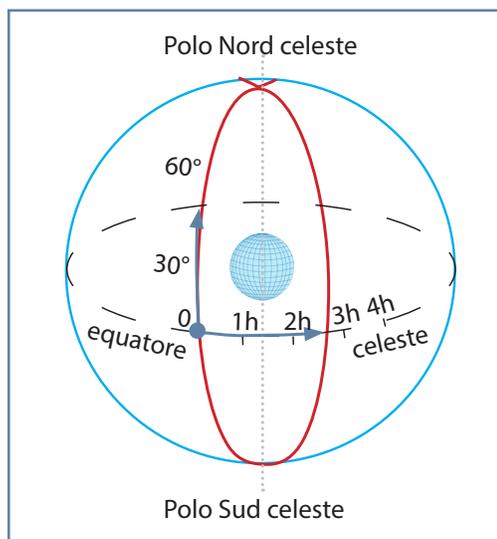
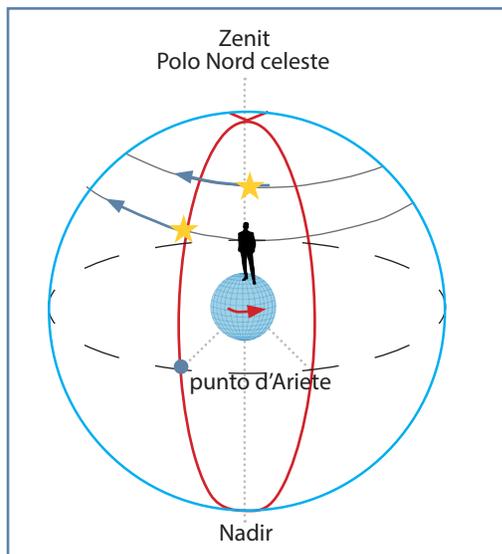


Fig. 13. Longitudine di Mosca misurata rispetto al meridiano di riferimento di Greenwich.

Fig. 14. L'intersezione tra l'equatore celeste e il meridiano 0h dà origine alle ascensioni rette.

Fig.15. Moto apparente delle stelle viste da un osservatore posto al Polo Nord terrestre.



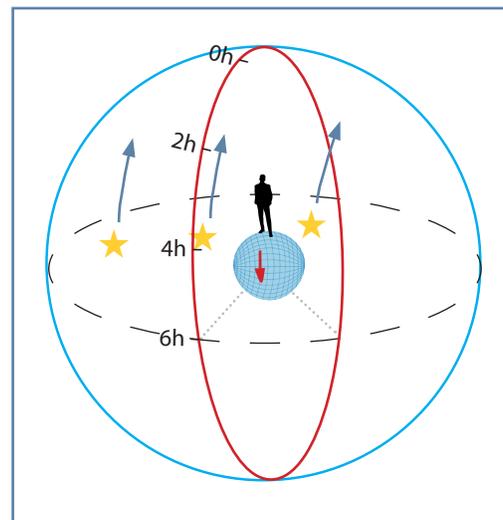
A destra. Fig.16. Moto apparente delle stelle viste da un osservatore posto sull'equatore terrestre.

mente all'orizzonte, dalla metà che va da un Polo all'altro passando per il punto cardinale Est. Trascorse 12 ore gli stessi astri tramonteranno alla sinistra dell'osservatore, in corrispondenza alla metà di orizzonte che va da un Polo all'altro passando per il punto Ovest. Le stelle che si trovano sull'equatore celeste sorgono esattamente a Est e tramontano esattamente a Ovest: dai luoghi posti sull'equatore si può osservare tutto l'Universo. Da un luogo di osservazione posto a latitudine intermedia, per fissare le idee supponiamo $+50^\circ$, il Polo Nord Celeste si troverà a un'altezza sull'orizzonte pari alla latitudine. Tutte le stelle comprese tra il Polo Nord Celeste, in vicinanza del quale si trova una stella di seconda grandezza chiamata Polare, e l'orizzonte rimangono sempre visibili a qualunque

ora siderale costituendo l'insieme delle Stelle circumpolari (fig. 17). Tra queste un gruppo particolarmente cospicuo forma il Grande Carro (Ursa Major): quattro stelle sono disposte a trapezio, il Carro appunto, e tre formano una curva, il timone del carro. Le due stelle del carro opposte al timone indicano con la loro direzione la stella Polare (fig. 18).

Un altro gruppo facilmente identificabile è composta di 5 stelle che formano una M (o una W, fig. 18 in basso): si chiama Cassiopea. Assieme al Grande Carro, Cassiopea permette di identificare il cerchio orario di AR 0h (fig. 18).

Osservando verso Sud si scorgeranno



stelle che rimangono sopra l'orizzonte per una parte del giorno siderale, sorgendo dalla metà Est, innalzandosi nel cielo fino a incontrare il meridiano locale

(cerchio passante per il Nord, lo Zenit e il Sud) per poi tramontare all'orizzonte nella metà Ovest. La presenza del suolo terrestre impedisce l'osservazione di tutti i corpi celesti compresi tra l'orizzonte e il Polo Sud Celeste, una calotta sempre invisibile costituita dalle stelle anti-circumpolari (fig. 17).

In definitiva, per un osservatore posto a una latitudine intermedia tra 0° e 90° (sia + che -) l'Universo risulterà diviso in tre zone: quella circumpolare, sempre visibile a qualunque ora siderale; la zona equatoriale, costituita dalle stelle che sorgono e poi tramontano e sono pertanto visibili solo attorno a determinate ore siderali; quella anti-circumpolare, che l'osservatore ignorerà fintanto che conserverà il suo luogo di osservazione (fig. 17). L'equatore celeste intersecherà l'orizzonte in due punti, i cardinali Est e Ovest. Il Polo celeste sarà riconoscibile a partire dalle costellazioni circumpolari (v. figg. 18 e 19).

Quanto fin qui esposto rimane vero anche quando introduciamo nelle considerazioni un corpo celeste che finora abbiamo trascurato, il Sole, e un moto della Terra detto di rivoluzione intorno al Sole. Alcuni aspetti purtroppo cambiano, a complicare la situazione, in quanto per le nostre necessità quotidiane noi facciamo riferimento a una misurazione del tempo basata sul Sole e non, come abbiamo fatto finora, sulle stelle.

La Terra descrive attorno al Sole un'orbita ellittica che percorre in senso an-

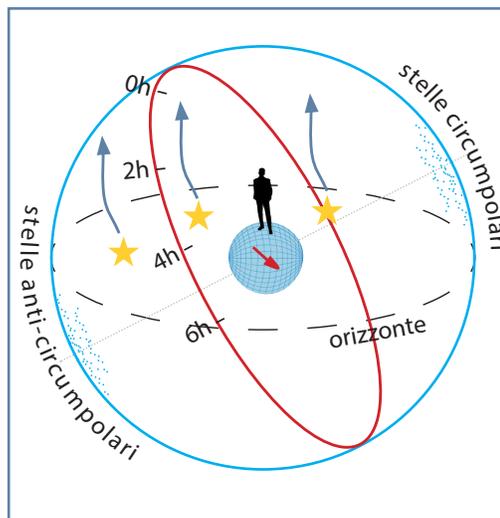


Fig. 17. Moto apparente delle stelle viste da un osservatore posto a 50° di latitudine Nord.

tiorario, vista da Nord, in 366,24 giorni siderali. Definendo il giorno solare vero come intervallo di tempo necessario perché il Sole passi due volte consecutive sul meridiano di un dato luogo, si viene a considerare un giorno di durata diversa dal giorno siderale. La fig. 20 mostra infatti che, nel tempo che viene impiegato a ruotare intorno a se stessa, la Terra descrive un arco di circa un grado intorno al Sole: per riallineare un dato meridiano della sua superficie con il Sole è necessario che la Terra prosegua ancora $1/366$ di rotazione, cioè quattro minuti circa. Risulta quindi che un giorno solare è di circa 4 minuti più lungo di un giorno siderale e che in un anno trovano spazio 365,2422 giorni solari.

Un'importante conseguenza della presenza del Sole è che la sua luce illumina costantemente metà del nostro pianeta

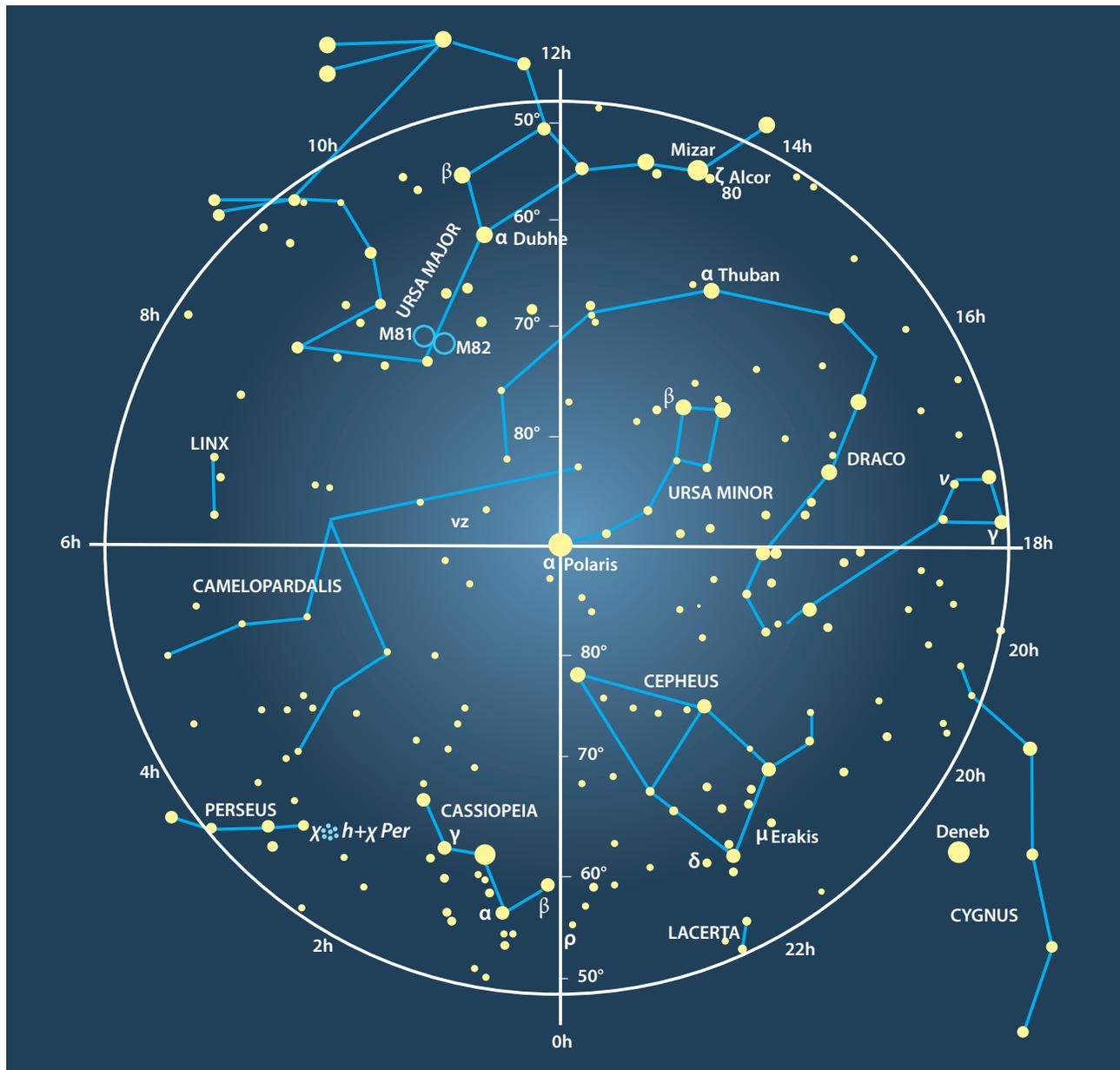


Fig. 18. Regione intorno al Polo Nord celeste, cioè calotta delle stelle circumpolari per un osservatore posto a 50° di latitudine Nord.

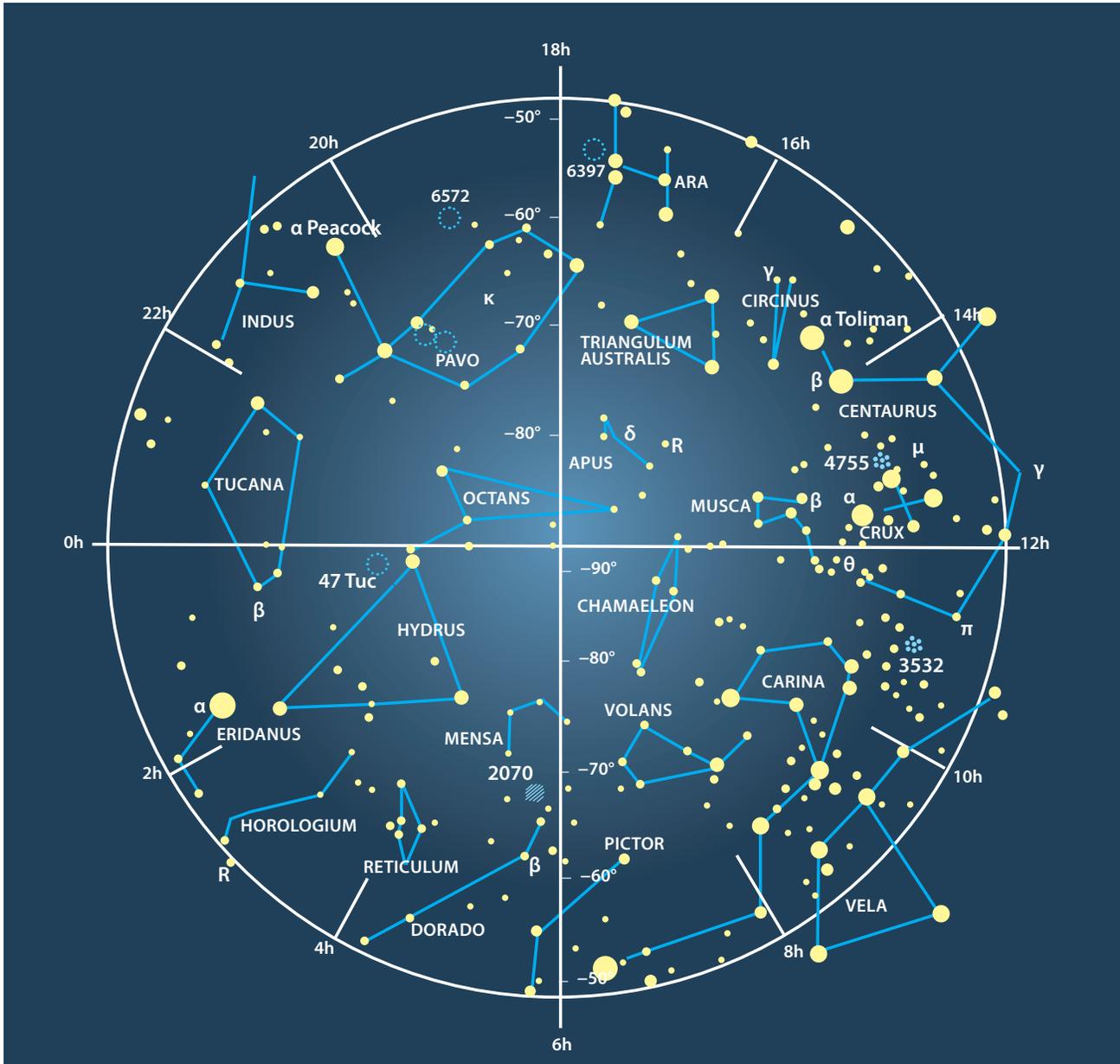


Fig. 19. Regione intorno al Polo Sud celeste, cioè calotta delle stelle anti-circumpolari per lo stesso osservatore della figura 18.

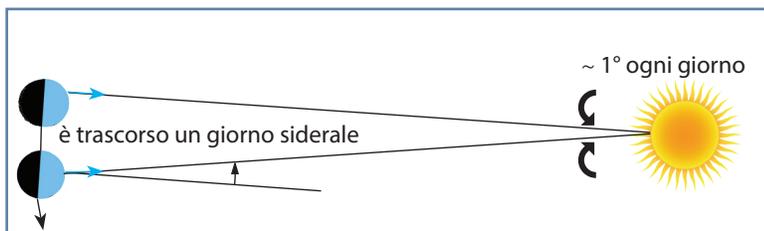


Fig. 20. In un giorno siderale la Terra percorre un angolo di circa 1° della sua orbita, in capo al quale non è più allineata con il Sole. Per allinearsi deve compiere un ulteriore arco di circa 1° , cosa che richiede circa 4 min di tempo.

(leggermente di più se si considera la luce diffusa dall'atmosfera) e, a causa della brillantezza del cielo diurno, i corpi celesti (a parte la Luna e Venere) saranno generalmente osservabili solo durante le ore notturne.

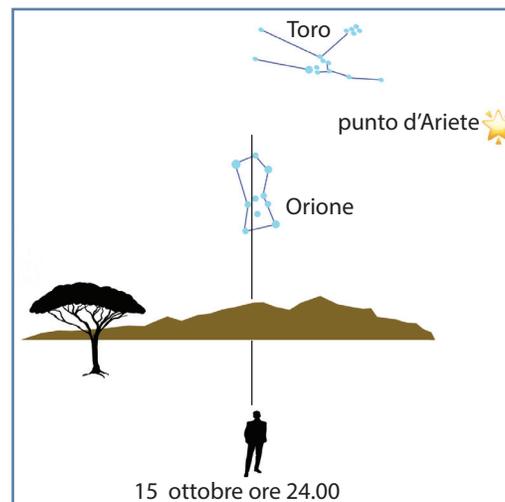
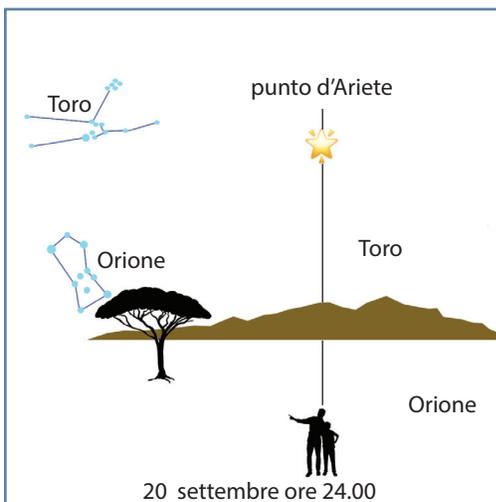
Supponiamo pertanto di osservare il cielo stellato molte notti di seguito, da un luogo di longitudine 0° , alla stessa ora solare della notte (per fissare le idee, le ore 24 esatte). Se la prima osservazione è effettuata alla mezzanotte del 20 settembre (fig. 21) al meridiano si trova il punto d'Ariete. Trascorsa un'ora di orologio,

cioè di tempo solare medio, transiteranno al meridiano stelle di Ascensione Retta 1h; dopo due ore osserveremo stelle di Ascensione Retta circa 2h e così di seguito finché, circa cinque ore dopo la mezzanotte, l'osservazione sarà ostacolata dal sorgere del Sole. Tirando le somme avremo avuto modo di vedere stelle comprese tra 0h e 5h circa di ascensione retta.

La sera successiva, iniziando ad osservare sempre alle ore 0h di tempo solare, il punto d'Ariete ci apparirà spostato dal meridiano di circa 4 minuti, qual è la differenza tra un giorno solare e un giorno siderale. A ogni giorno che passa il punto d'Ariete si sposterà verso il tramonto circa di 4 minuti e, di conseguenza, osserveremo al meridiano stelle di Ascensione Retta aumentata di 4 minuti rispetto alla sera precedente. In capo a 15 giorni lo spostamento dello scenario celeste provocato dallo sfasamento tra i due modi di

Qui a lato, Fig. 21. Alle ore 24 del 20 settembre l'osservatore vede al meridiano del luogo (arco Polo Nord celeste, Zenit, punto cardinale Sud) il punto d'Ariete e dall'orizzonte Est è appena sorto Orione sovrastato dal Toro.

A destra, Fig. 22. Alle ore 24 del 15 ottobre Orione è in meridiano e il punto d'Ariete sta tramontando a Ovest. Si noti la variazione dell'inclinazione di Orione rispetto alla figura accanto.



misurare il tempo ammonta a 1h: tale è l'Ascensione Retta dei corpi che appaiono al meridiano alla mezzanotte solare e tale è il tempo siderale corrispondente (fig. 22). Trascorso un mese (21 ottobre) a mezzanotte solare sarà possibile osservare al meridiano stelle di Ascensione Retta 2h, e poiché ritarda sempre più l'ora dell'alba, sarà possibile coprire un arco celeste più ampio di 5 ore, fino a osservare stelle di quasi 8h di Ascensione Retta. A distanza di tre mesi dall'equinozio autunnale il divario tra ora solare e siderale è di 6 ore: stelle che in settembre non erano osservabili perché immerse nella luce dell'alba sono al meridiano in dicembre, visibili per una grande parte della notte (dipende dalla loro declinazione: *v. pag.*

42). Prima dell'alba saranno osservabili stelle di AR 12h che si troveranno al meridiano, di mezzanotte, solo il 21 marzo, cioè tre mesi dopo.

La combinazione dell'alternarsi della notte e del dì, dovuta alla rotazione terrestre, con la rivoluzione della Terra intorno al Sole ne provoca la compensazione: mentre il primo moto ci renderebbe visibile circa metà Universo (solo di notte), il secondo permette alla faccia non illuminata del nostro pianeta di rivolgersi verso qualsiasi zona dell'Universo. Se potessimo vedere le stelle in pieno giorno, in particolare quelle tra le quali si trova apparentemente il Sole, noteremmo un altro effetto dovuto alla rivoluzione della Terra: il moto apparen-

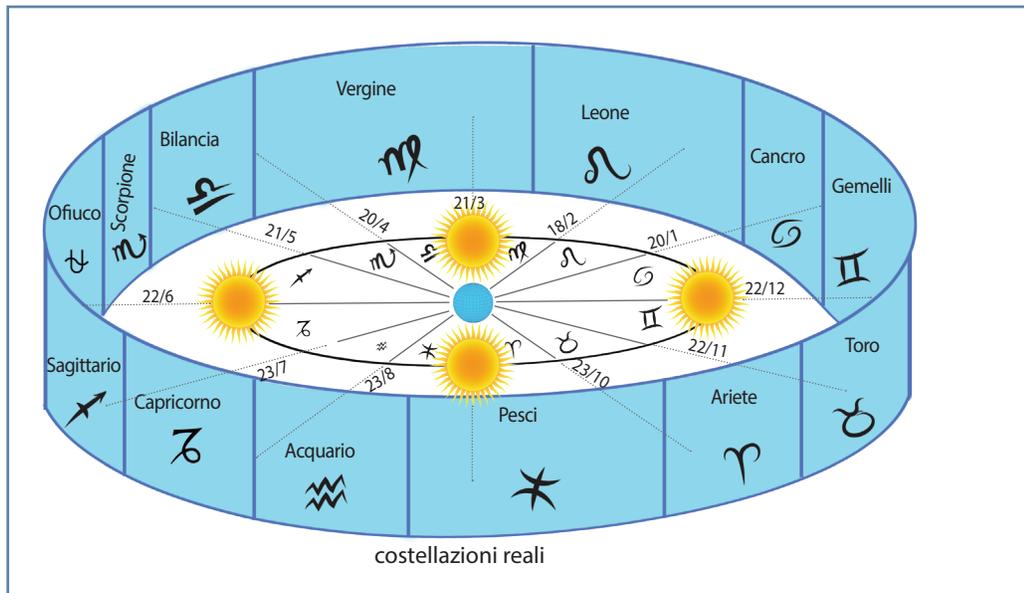


Fig. 23. Dalla Terra il Sole appare descrivere un cammino tra le 13 costellazioni dello Zodiaco seguendo un percorso chiamato eclittica. Nell'arco della nostra vita l'asse di rotazione della Terra punta sempre sulla Stella Polare.

te del Sole tra le costellazioni dello Zodiaco. Dal nostro punto di osservazione continuamente variabile il Sole è visto muoversi durante l'anno percorrendo un cerchio (eclittica) che attraversa tredici grandi costellazioni (fig. 23).

I nomi delle costellazioni risalgono probabilmente alla civiltà babilonese: Ariete, Toro, Gemelli, Cancro, Leone, Vergine, Bilancia, Scorpione, Ofioco, Sagittario, Capricorno, Acquario e Pesci si rifanno alla stessa tradizione dei segni zodiacali e astrologici, sebbene attualmente ne differiscano per una ragione che verrà spiegata tra poco.

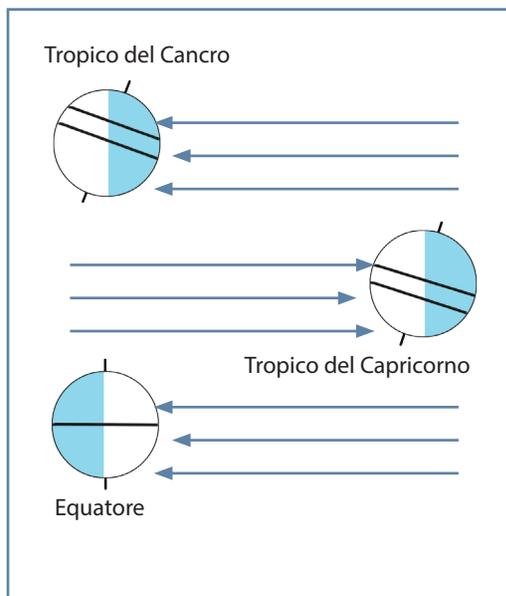
Dalla fig. 23 risulta che l'asse di rotazione terrestre si mantiene durante tutto l'anno puntato verso una definita regione della sfera celeste, caratterizzata dalla

vicinanza della stella Polare. L'asse di rotazione è inclinato rispetto alla perpendicolare al piano su cui giace l'orbita terrestre di circa $23,4^\circ$ e a questo fatto sono legate alcune importanti conseguenze. Sebbene il Sole illumini costantemente circa metà del nostro pianeta, a causa dell'inclinazione dell'asse di rotazione le varie parti della sua superficie non sono illuminate in maniera equivalente lungo l'arco dell'anno. Per illustrare il fenomeno consideriamo tre zone particolari: una equatoriale, una polare e una a latitudine intermedia (fig. 24).

Qualunque sia la posizione della Terra lungo l'orbita, metà dell'equatore sarà sempre illuminato mentre l'altra metà rimarrà al buio: di e notte saranno sempre uguali a questa latitudine, durante tutto l'anno. Il Sole tuttavia non apparirà ogni giorno nelle stesse zone di cielo: solo il 20 marzo e il 22 settembre, per esempio, passerà allo Zenit lasciando gli oggetti senza ombra. Nei mesi tra aprile e settembre sarà visto passare allo Zenit di luoghi a latitudine sempre positiva, giungendo il 22 giugno sopra il Tropic del Cancro (latitudine $+23,4^\circ$), la regione più settentrionale su cui può passare allo Zenit. Nei mesi tra ottobre e marzo il Sole passerà allo Zenit di luoghi a latitudine negativa fino a culminare sui luoghi più meridionali che costituiscono il Tropic del Capricorno attorno al 21 dicembre.

Per le regioni vicine ai Poli la situazione sarà molto diversa. A iniziare dal 20 di

Fig. 24. Sopra, estate boreale. I raggi del Sole colpiscono a perpendicolo il tropico del Cancro, illuminano oltre il Polo Nord ma non raggiungono il Polo Sud (inverno australe). Centro, inverno boreale. I raggi del Sole colpiscono a perpendicolo il tropico del Capricorno, illuminano oltre il Polo Sud ma non raggiungono il Polo Nord (estate australe). Sotto. Negli equinozi i raggi del Sole colpiscono perpendicolarmente il suolo all'equatore e sfiorano i due Poli.



marzo il Polo Nord riceverà la luce del Sole. A ogni rotazione della Terra il Sole resterà visibile sopra l'orizzonte tutte le 24 ore mentre, giorno dopo giorno, apparirà sempre più alto nel cielo. Raggiunta attorno al 21 giugno la massima altezza sull'orizzonte ($23,4^\circ$), il Sole inizierà un lento moto discendente, quasi una spirale vista esattamente dal Polo, che lo porterà nuovamente all'orizzonte attorno al 22 settembre. Per i successivi 6 mesi la luce del Sole non cadrà più sul Polo Nord mentre sarà il Polo Sud a godere di un lunghissimo giorno.

A una latitudine intermedia il 20 marzo il Sole sarà visibile per 12 ore ed altrettanto durerà la notte, da cui il termine equinozio associato a questo giorno. Tra aprile e giugno i raggi del Sole scaldano il suolo per più di 12 ore e l'astro apparirà a ogni mezzogiorno sempre più alto sull'orizzonte per raggiungere il 21 giugno un'altezza

$$h = 90^\circ - \text{latitudine} + 23,4^\circ$$

Attorno a tale data e per alcuni giorni il moto del Sole si ripeterà senza variazioni sostanziali: da qui il nome di solstizio (latino *Sol-sistere*) estivo. Tra giugno e dicembre l'astro apparirà a ogni mezzogiorno sempre più basso; il 22 settembre si troverà all'equinozio autunnale per finire il moto discendente attorno al 21 dicembre alla minima altezza sull'orizzonte (altezza = $90^\circ - \text{latitudine} - 23,4^\circ$). Per qualche giorno il cammino diurno si

ripeterà (solstizio invernale) ma poi riprenderà la direzione verso l'alto, verso un nuovo anno.

Le stagioni, opposte nell'emisfero sud (australe), sono legate alle variazioni di incidenza sul suolo dei raggi solari e non alla variabile distanza Terra-Sole. Infatti tra l'estate australe, che si verifica alla minima distanza Terra-Sole (perielio), e quella boreale, che si verifica nelle vicinanze della massima distanza (afelio), vi è una differenza di solo qualche grado centigrado. L'eccentricità dell'orbita porta con sé altre conseguenze.

La seconda legge di Keplero afferma che, quando un pianeta percorre un'orbita ellittica attorno al Sole, il segmento immaginario che li unisce (detto *raggio vettore*) descrive nello spazio aree uguali in tempi uguali. I triangoli misti T_1 e T_2 in *figura 25* hanno la stessa area e sono pertanto descritti dal raggio vettore R in tempi uguali: questo comporta che anche gli archi AB e CD di orbita siano percorsi dal pianeta in tempi uguali. Poiché

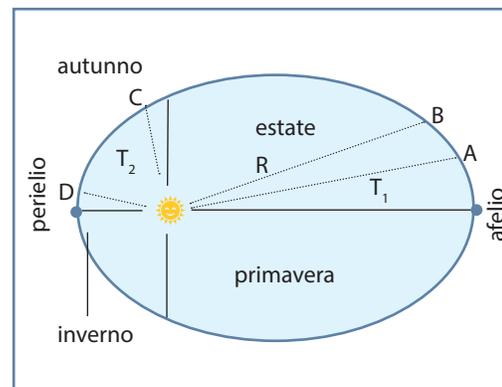


Fig. 25. Caratteristiche dell'orbita terrestre (esagerate). Gli archi AB e CD sono percorsi in tempi uguali (Il Legge di Keplero) quindi con velocità orbitale maggiore per CD (intorno al perielio) che per AB (intorno all'afelio).

gli archi hanno lunghezza differente si deduce che la velocità con cui il pianeta percorre l'orbita varia lungo la stessa: in particolare la velocità sarà massima in vicinanza del perielio (tratto più vicino al Sole) e minima all'afelio. A questo fatto è dovuta la differente durata delle varie stagioni sulla Terra.

Così accade anche su Marte il quale, avendo un asse di rotazione inclinato di circa $24,5^\circ$ sulla perpendicolare alla propria orbita, mostra stagioni dall'andamento molto simile alle nostre. Le differenze esistenti (maggiore durata e maggiore asimmetria) sono dovute alla maggiore distanza dal Sole e alla maggiore eccentricità dell'orbita di Marte rispetto alla Terra (*vedi tabella qui sotto, valida per il secolo corrente*).

La data di inizio delle stagioni oscilla entro un paio di giorni in quanto l'anno tropico, inteso come intervallo tra due passaggi del Sole al punto d'Ariete, dura 365,2422 giorni solari medi. La frazione di giorno (0,2422) che ogni anno si accumula è circa uguale a 6 ore e ogni 4 anni ammonta a un giorno intero: questo viene recuperato nell'anno bisestile aggiungendo al mese di febbraio e pertanto si sposta indietro di un giorno l'inizio delle stagioni che seguiranno. Si tratta di un'oscillazione, quindi, introdotta dalla nostra necessità di contare un numero intero di giorni in un dato anno, siano essi 365 o 366.

L'inclinazione e la direzione dell'asse terrestre non sono immutabili: i moti a cui sono soggette, pur di debole entità nell'ar-

Emisfero		inizio	TERRA	MARTE
boreale	australe		durata(*)	durata(*)
primavera	autunno	19-20-21 marzo	92,71d	199d
estate	inverno	20-21 giugno	93,67d	182d
autunno	primavera	21-22-23 settembre	89,89d	146d
inverno	estate	20-21-22 dicembre	88,97d	160d

(*) d sta per giorno terrestre (latino: *dies*)

co di una vita umana, portano a importanti conseguenze su grandi periodi di tempo. A causa dell'azione gravitazionale della Luna e del Sole sul rigonfiamento equatoriale terrestre, l'asse oscilla con periodo di 18,6 anni (ampiezza 9": nutazione) e descrive un cono (precessione degli equinozi, *fig. 26*) in 25 800 anni circa.

A causa di ciò il Polo Nord Celeste (e simmetricamente quello Sud) non resta fisso in vicinanza della stella Polare ma si sposta continuamente descrivendo quasi un cerchio tra le stelle, come mostrato in *fig. 27*. 4000 anni fa l'asse terrestre puntava verso la stella α Draconis; 2000 anni fa il Polo Celeste non era indicato da nessuna stella visibile a occhio nudo; tra 14 000 anni circa in vicinanza del Polo si troverà Vega, stella di prima grandezza della costellazione della Lira.

Una seconda conseguenza della precessione è lo spostamento del reticolo di coordinate astronomiche (AR e D) rispetto alle stelle fisse: il punto d'Ariete e le coordinate delle stelle cambiano continuamente. Sebbene impercettibili, questi spostamenti sono significativi su lunghi intervalli di tempo e si rendono necessarie correzioni secondo tabelle del tipo di quelle riportate a pag. 112 dell'Almanacco UAI.

Una terza conseguenza è rappresentata dallo slittamento lento ma continuo che si verifica tra le costellazioni. Mentre attualmente, durante le notti d'inverno, osserviamo certe costellazioni come il Toro e i Gemelli e il Sole si trova nelle costellazioni estive, Scorpione o Sagittario, tra

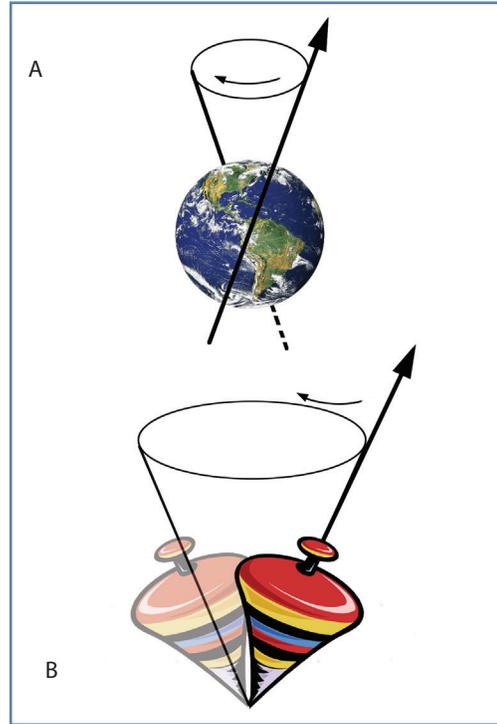
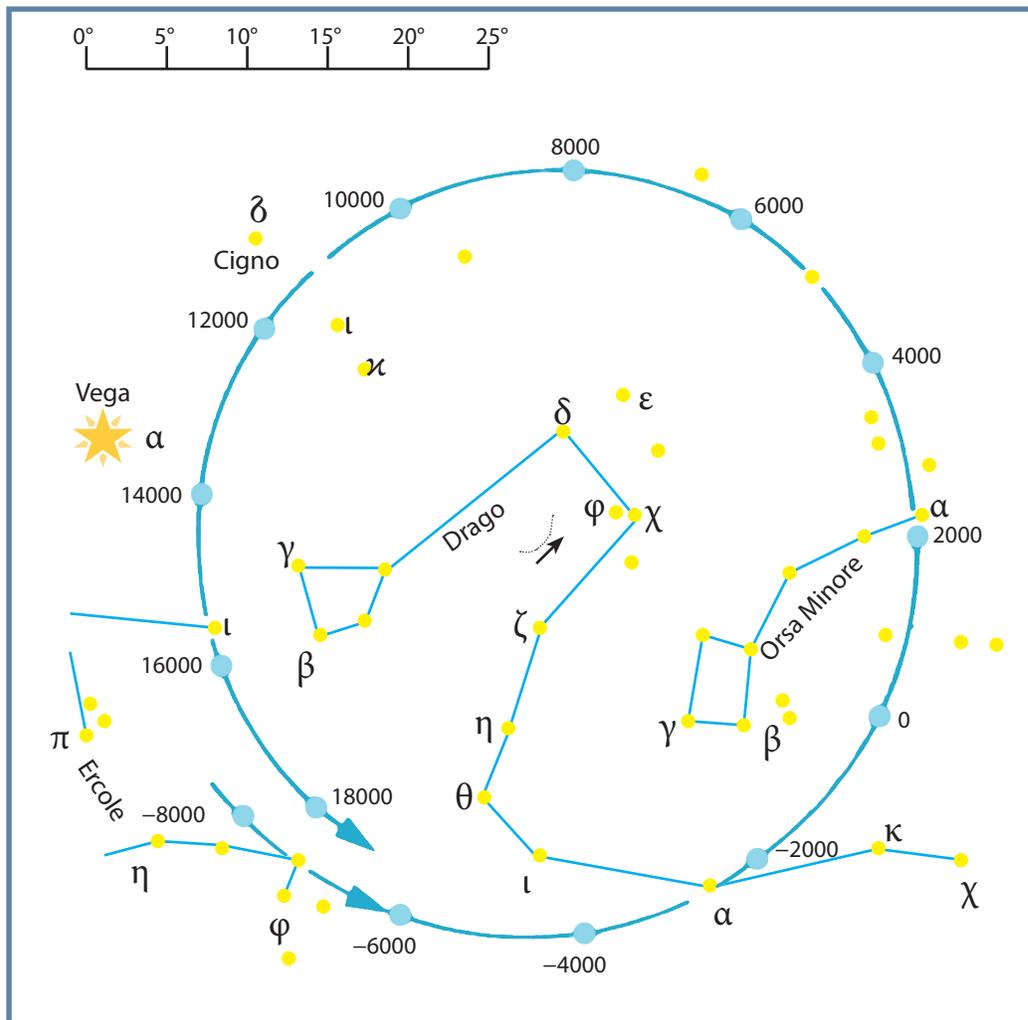


Fig. 26. Moto conico dell'asse di rotazione della Terra (A) che, come una trottola che perde velocità (B) descrive quasi un cerchio fra le stelle.

13 000 anni (stella polare ι *Herculis*) nelle notti d'inverno si osserveranno Scorpione e Sagittario mentre il Sole si troverà in costellazioni come il Toro e i Gemelli, che saranno diventate costellazioni estive.

Bisogna qui distinguere fra costellazioni dello Zodiaco, che sono state definite nel 1930 dall'International Astronomical Union, cioè la società degli astronomi, e i segni zodiacali, usati dagli astrologi. I segni sono 12, di ampiezza uguale, cioè 30° (per un totale di 360°) e sono vincolati ai mesi e alle stagioni, ma a causa della precessione, si sfalsano continuamente dalle costellazioni omonime. La tredicesima

Fig. 27. Percorso quasi circolare del Polo Nord celeste tra le stelle (precessione).



sima costellazione dello Zodiaco, l'Ofiuco, è una realtà scientifica ma non ha nessuna influenza sui segni astrologici.

Altri moti, menzionati all'inizio del capitolo, a cui la Terra è soggetta tra le stelle della Via Lattea e tra le galassie non portano a conseguenze tanto cospicue da rientrare negli

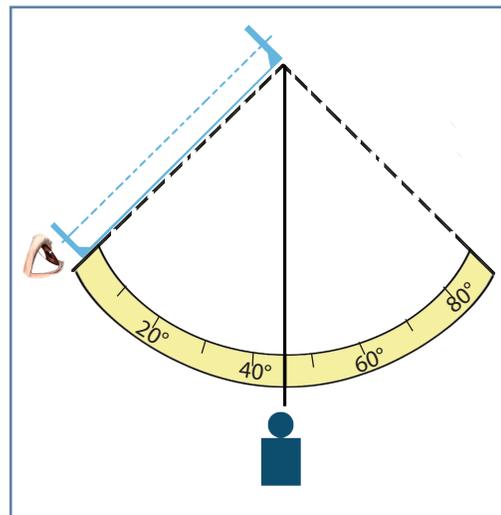
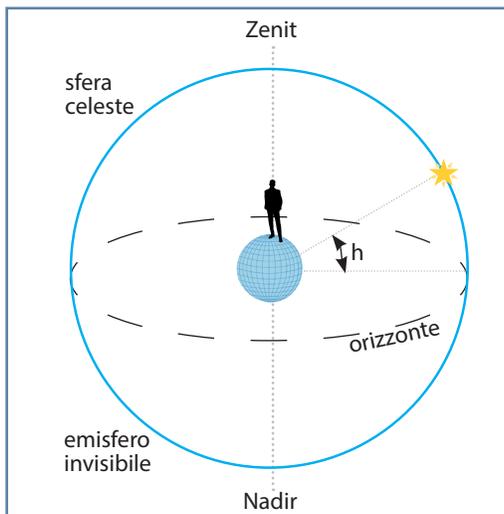
scopi di questo libro. Essi mettono in risalto da un lato la rotazione della Via Lattea e dall'altro il generale moto di espansione cui appare soggetto l'Universo in cui viviamo. Per un più approfondito esame di tali aspetti si rimanda a testi che vengono citati nella bibliografia.

IL MOTO DEL SOLE

In un giorno sereno di inizio primavera (o autunno) osserviamo il moto apparente del Sole: esso sorge a Est e nel corso della mattinata sale sempre più in alto mentre nel contempo si sposta verso Sud. Attorno a mezzogiorno esso raggiunge la massima altezza sull'orizzonte (culminazione superiore) dopo di che comincia a scendere, spostandosi verso Ovest fino a raggiungere questa zona dell'orizzonte al tramonto.

Il moto compiuto nell'arco della giornata è una parte del cerchio che viene completato durante la notte, quando il Sole si muove su quella metà della volta celeste che si trova al di sotto dell'orizzonte. In particolare, attorno alla mezzanotte la traiettoria del Sole raggiungerà il punto più basso (culminazione inferiore) in direzione del punto cardinale Nord.

Il problema di misurare l'altezza del Sole, come di qualsiasi astro, è legato alla definizione di tempo e alla posizione geografica dell'osservatore. L'altezza di un astro sull'orizzonte è la misura angolare dell'arco di cerchio passante per l'astro e perpendicolare all'orizzonte secondo la *fig. 28*. Espressa in gradi, l'altezza può assumere valori compresi tra 0° (al sorgere o al tramontare) e 90° , quando l'astro passa esattamente sulla nostra testa, nella direzione del filo a piombo chiamata Zenit. A posizioni celesti sotto l'orizzonte corrispondono altezze negative, fino ai -90° che caratterizzano il punto che, lungo la direzione del filo a piombo, viene a trovarsi sotto i nostri piedi, cioè il Nadir. Un modo semplice di misurare l'altezza del Sole è di ricorrere alla misura dell'ombra



A sinistra Fig. 28. Altezza di un astro sull'orizzonte.

Qui a lato. Fig. 29. Quadrante solare.

◦ In termini trigonometrici, tale rapporto definisce il valore della tangente dell'angolo h ($\tan h$). Si può determinare il valore di h per il Sole quando una bacchetta di 150 mm, infissa verticalmente, proietta sul terreno un'ombra di 180 mm:

$$\tan h = 150 \text{ mm} : 180 \text{ mm} = 0,83$$

Con la calcolatrice impostata su \tan^{-1} , l'arco corrispondente risulta di 40° circa.

che un bastoncino di lunghezza nota proietta su una superficie orizzontale, sulla quale è piantato perpendicolarmente. Il rapporto tra la lunghezza del bastoncino e quella della sua ombra dipende solo dall'altezza del Sole, che chiameremo h .

Lo strumento tradizionale che consente di misurare l'altezza del Sole è il quadrante solare: la *fig. 29* ne riporta le linee essenziali. Una scala goniometrica, nel centro della quale è imperniato un filo a piombo, è solidale a due mire che vengono dirette verso il punto da misurare. Diretta sull'orizzonte marino la scala goniometrica è intercettata dal filo in corrispondenza dell'angolo 0° ; diretta verso lo Zenit fornisce il valore 90° . Diretta infine verso il centro del Sole consente di ricavarne, momento dopo momento, i valori di altezza sull'orizzonte.

L'altezza del Sole in un certo istante non è sufficiente a definirne univocamente la posizione: occorre infatti definire e misurare un'altra coordinata che lo collochi tra i punti cardinali. Immaginando di far passare per il centro del disco solare un cerchio verticale, questo intersecherà l'orizzonte in un punto: la distanza angolare tra questo punto e il punto cardinale Sud, misurata verso Ovest, fornisce la coordinata che viene chiamata azimut. Per esempio, quando il Sole si trova sopra il punto Est ha un azimut di 270° ; quando è sul meridiano ha azimut 0° ; quando tramonta in estate ha un azimut di 120° circa.

Il punto Sud dell'orizzonte è il classico riferimento degli azimut. Oggi, purtroppo, è di uso corrente contare gli azimut a partire dal

punto Nord, allo stile dei naviganti. Il lettore, se ha qualche conoscenza, probabilmente userà già questo riferimento, ma qui lo ignoreremo.

All'equinozio primaverile (19-21 marzo) il Sole sorge esattamente a Est, quindi ha azimut 270° , e passa alla culminazione superiore raggiungendo un'altezza che vale:

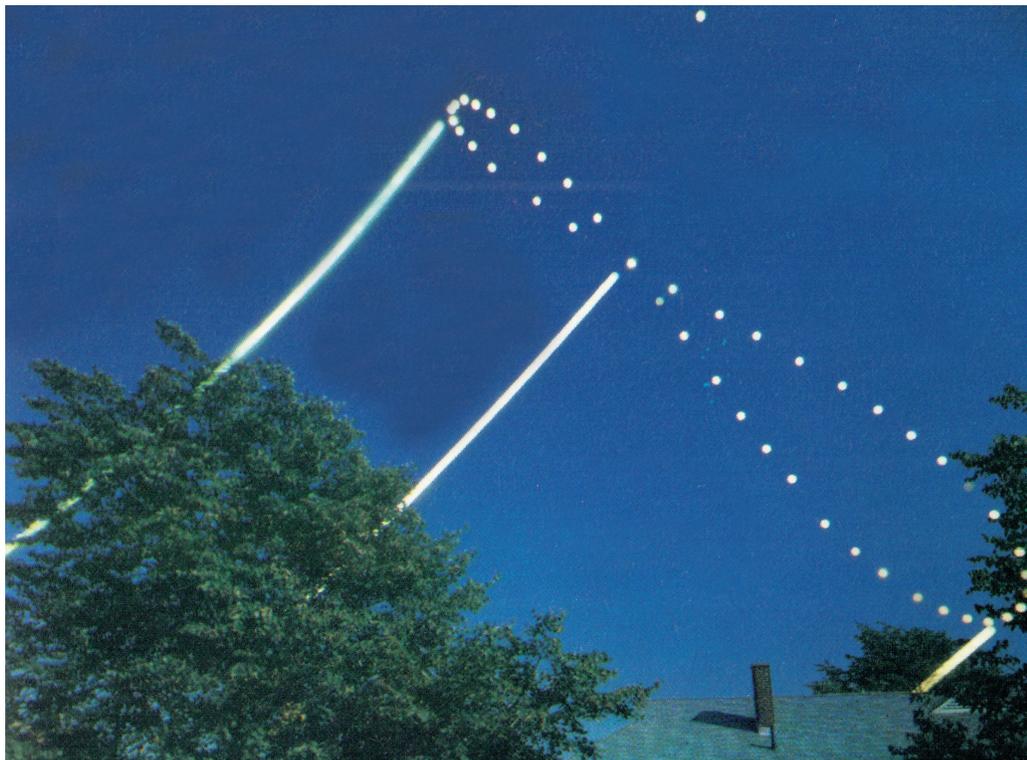
$$h = 90^\circ - \text{latitudine del luogo}$$

quindi tramonta esattamente a Ovest (azimut 90°). Gli esempi che seguono sono fatti per una latitudine di 45° . La durata del dì è uguale alla durata della notte, da cui la parola equinozio.

Con il procedere della primavera e fino al solstizio estivo (circa 21 giugno) l'azimut del Sole all'alba è sempre più piccolo (fino a ca. 240° , cioè si sposta verso Nord) e l'altezza è sempre più elevata (fino a $68,5^\circ$). Contemporaneamente l'azimut al tramonto è sempre più grande (fino a ca. 120°).

Dal solstizio estivo fino a quello invernale (ca. 21 dicembre) il Sole aumenta l'azimut all'alba (fino a 300° , cioè si sposta verso Sud), diminuisce l'altezza alla culminazione superiore (fino a $21,5^\circ$) e diminuisce l'azimut al tramonto (fino a 60°).

Nella foto della pagina a fianco appare il Sole fotografato ogni 8 giorni, alla stessa ora del giorno: è evidente che, al momento dei solstizi (in alto quello estivo, in basso quello invernale), il Sole staziona per qualche giorno alla stessa altezza, alla stessa ora giorno dopo giorno, per poi riprendere il cammino a scendere o a



Questa foto è composta di scatti eseguiti, con una macchina immobile, ogni 8 giorni alla stessa ora di orologio. Illustra i moti del Sole in un anno e la sua forma viene definita *analemma*.

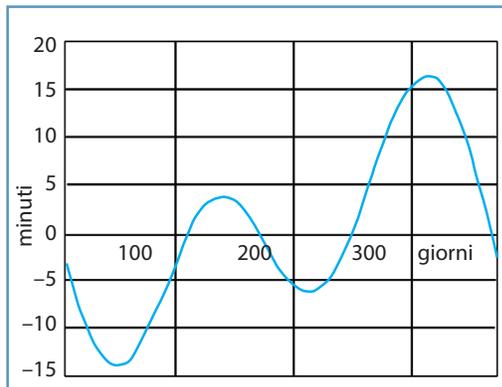
salire. Il fatto che le immagini appaiano a volte in anticipo, a volte in ritardo sul meridiano è una conseguenza delle variazioni di velocità della Terra sulla sua orbita, causate dalla ellitticità di questa e dalla validità della seconda legge di Keplero, e dall'obliquità dell'eclittica cioè dall'angolo formato dal piano dell'eclittica con l'equatore celeste.

L'equazione del tempo è definita come la differenza che nelle diverse epoche dell'anno esiste tra il tempo vero e il tempo medio segnato dagli orologi ed è rappresentata nel grafico in *fig. 30* in cui il

Sole culmina con un quarto d'ora di ritardo circa nel mese di febbraio e anticipa di circa altrettanto il suo passaggio al meridiano intorno a novembre.

La non uniformità del moto apparente del Sole non influenza la misura della lunghezza del giorno per la quale è stata scelta una durata fittizia, ottenuta sommando la durata di tutti i giorni dell'anno (intervallo di tempo tra due culminazioni successive) e dividendo tale somma per il numero di giorni trascorsi. È a tale intervallo fittizio di tempo che è stata attribuita la definizione di giorno civile e così pure

Fig. 30. L'equazione del tempo.



tutta una serie di suddivisioni: l'ora, che è un ventiquattresimo di giorno; il minuto primo, che ne è la 1440esima parte e infine il minuto secondo, che ne costituisce la 86 400esima parte.

Introdotte queste unità di misura non era tuttavia risolto il problema dell'ora solare nelle diverse regioni del pianeta. A causa della curvatura della sua superficie, quando in Italia, per esempio, è mezzogiorno, in America il Sole è appena sorto mentre in Asia è già pomeriggio o addirittura sera. Per non costringere chi viaggia a cambiare continuamente l'ora indicata dal proprio orologio, si è convenuto di attribuire a larghi spicchi di superficie (fusi orari, di ampiezza circa 15° in longitudine) l'ora solare media corrispondente alla longitudine centrale del fuso. L'Italia, per esempio, è interamente compresa in un fuso orario centrato a quindici gradi di longitudine Est rispetto a Greenwich, per cui l'ora civile di Trieste corrisponde a quella di Torino, di Roma, di Lecce e così via. Il tempo italiano vale per la maggior parte delle nazioni

vicine, definito Tempo Medio dell'Europa Centrale (TMEC). Escluso il Regno Unito.

In pratica, fra il tempo medio del fuso (TMF) e il tempo vero di un dato luogo (tempo vero locale, TVL) vi è uno scarto che può andare da qualche minuto a una trentina di minuti, ma di questo si tiene conto solo negli orologi solari (meridiane) quando si voglia determinare il TVL.

In compenso la differenza che intercorre fra il tempo del fuso in Italia e quello degli altri Paesi è sempre un numero intero di ore: viaggiando dall'Italia all'Inghilterra, per esempio, occorre arretrare di un'ora le lancette dell'orologio. Il tempo del fuso orario inglese ha poi assunto, per ragioni storiche, un valore standard allo scopo di descrivere in modo univoco i fenomeni celesti: esso viene detto Tempo Universale (TU).

Va ricordato che, durante il periodo estivo, per un migliore sfruttamento della luce diurna, si fa avanzare di un'ora il tempo civile (ora legale): durante questo periodo per ottenere il TU sarà dunque necessario togliere due ore dal TMEC.

CALCOLO DELLA CULMINAZIONE DEL SOLE

Come esempio, determiniamo l'istante della culminazione superiore del Sole il 10 luglio di un anno qualsiasi sulla città di Verona. Tale istante non coincide con il mezzogiorno civile per i seguenti motivi:

- differenza in longitudine tra Verona e la longitudine 15° E (il meridiano dell'Europa Centrale)

- equazione del tempo
- uso dell'ora legale.

Dalla *fig. 30* si ricava che nel giorno 10 luglio l'equazione del tempo ammonta a -5min , cioè il tempo solare è in ritardo di 5 minuti sul tempo medio. Per questo solo fatto il Sole passerebbe al meridiano alle 12h 05min, invece che alle 12h 00min. Verona si trova alla longitudine 11° Est: poiché il tempo del fuso orario di cui fa parte l'Italia è riferito al meridiano di longitudine 15° (differenza di 4°), il tempo solare medio di Verona è in ritardo di 16 minuti ($4 \text{ min}/^\circ \cdot 4^\circ$), il che porterebbe l'istante della culminazione alle ore 12h 21min.

Tenendo infine conto dell'ora legale, avanti di 1 ora rispetto al tempo del fuso durante il periodo estivo, si deduce che il Sole transita al meridiano di Verona quando l'orologio segna le 13h 21min, ben 81 minuti dopo il mezzogiorno civile!

DETERMINAZIONE DEGLI ISTANTI DELL'ALBA E DEL TRAMONTO

L'ora del sorgere e del tramontare del Sole cambia durante l'anno, come si è visto, ma dipende anche dalla conformazione dell'orizzonte e risente di ogni ostacolo naturale o artificiale che fa ritardare l'alba o anticipare il tramonto (case, alberi, monti). Il sorgere o tramontare astronomici, non solo riferiti al Sole, sono calcolati per un orizzonte marino e possono differire da quelli reali anche per alcuni minuti. Volendo determinare la durata

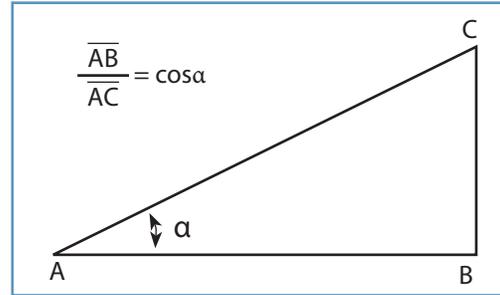


Fig. 31. Definizione di coseno di un angolo.

del giorno il 21 giugno, solstizio d'estate, è necessario determinare gli istanti dell'alba e del tramonto che dipendono da tre parametri:

- latitudine del luogo di osservazione (ϕ)
- declinazione del Sole tra le stelle (δ)
- istante della culminazione superiore (*v. sopra*).

Il calcolo che ci apprestiamo a eseguire fa uso della tabella riportata a pagg. 16-27 dell'Almanacco UAI, che raccoglie la declinazione del Sole ogni giorno durante l'anno, e di una nuova funzione trigonometrica denominata «coseno» (cos). La funzione rappresenta il rapporto tra il cateto adiacente all'angolo in esame e l'ipotenusa del triangolo rettangolo (*fig. 31*).

La formula per risolvere il problema è:

$$\cos T = -\tan \phi \cdot \tan \delta$$

dove T è la misura del semiarco diurno descritto dal Sole, ϕ è la latitudine del luogo di osservazione e δ è la declinazione del Sole al momento dell'osservazione, tutte espresse

in gradi. Esemplicando, per Roma il 21 giugno si ha:

- $\tan 42^\circ$ (= latitudine) 0,90
- $\tan 23,4^\circ$ (= declinazione solare) 0,43
- $\tan \phi \cdot \tan \delta$ cambiato di segno $-0,39$

L'arccos di $-0,39$ è l'angolo che ha per coseno T il valore $-0,39$, quindi è 113° .

La semiampiezza dell'arco diurno del Sole è pertanto 113° , da cui si ricava l'ampiezza dell'arco diurno: $113^\circ \cdot 2 = 226^\circ$. Per calcolare la durata in ore è necessario tenere presente che 1 ora equivale a 15° :

- durata del semiarco diurno
($113^\circ : 15^\circ$) 7h 32min
- durata dell'arco diurno
($226^\circ : 15^\circ$) 15h 4min

Determinata la culminazione superiore:

- equazione del tempo: 1min (ritardo)
- distanza dal centro del fuso ($12,5^\circ - 15^\circ$): 10min
- correzione per l'ora legale: 60min
- ritardo totale dalle ore 12h 00min: 1h 11min
- istante della culminazione superiore: 13h 11min

si deduce che l'alba deve verificarsi alle ore:

$$13h 11min - 7h 32min = 5h 39min$$

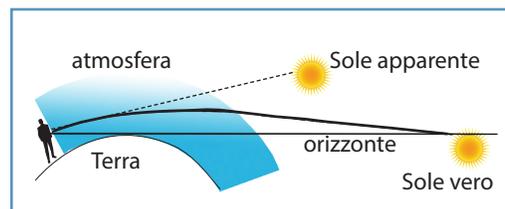
mentre il tramonto avviene alle ore:

$$13h 11min + 7h 32min = 20h 43min$$

In realtà gli istanti così calcolati sono in leggero disaccordo con l'esperienza per

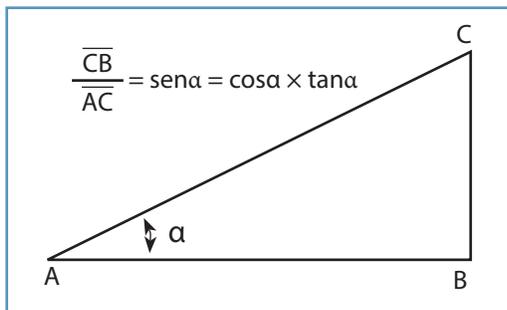
due motivi. La declinazione del Sole è riferita al suo centro, pertanto gli istanti calcolati si riferiscono all'apparizione (o sparizione) del centro del Sole all'orizzonte: poiché il Sole ha un diametro sensibile ($30'$ circa) la metà superiore è già (o ancora) visibile al momento calcolato. Inoltre gli strati di atmosfera terrestre posti tra noi e il Sole incurvano la traiettoria dei suoi raggi (fig. 32) cosicché noi vediamo l'astro a un'altezza maggiore di quella reale. Si può tenere conto di questi effetti aggiungendo, alle nostre latitudini, 10 minuti di luce il giorno, 5 prima dell'alba e 5 dopo il tramonto calcolati come visto.

Fig. 32. La rifrazione atmosferica incurva i raggi solari e mostra all'osservatore un Sole più alto sull'orizzonte del Sole vero (di circa $36'$ in media, cioè maggiore del diametro solare).



CALCOLO DELL'ALTEZZA E DELL'AZIMUT DEL SOLE

Abbiamo visto come si possa misurare in ogni momento della giornata l'altezza del Sole sull'orizzonte e il suo azimut. Dato che il moto del Sole si ripete con regolarità anno dopo anno è possibile calcolare le grandezze in oggetto mediante formule opportune. In queste appare una nuova funzione, denominata seno (sen) che è definibile come rapporto tra il cateto opposto all'angolo in esame e l'ipotenusa del triangolo rettangolo, oppure



La formula:

$$\text{sen } h = \text{sen } \delta \cdot \text{sen } \phi + \text{cos } \delta \cdot \text{cos } \phi \cdot \text{cos } H$$

fornisce il seno dell'angolo h , altezza del Sole sull'orizzonte.

Il valore dell'azimut (A) è calcolabile dalla relazione:

$$\text{cos } A = - \frac{\text{sen } \delta - \text{sen } h \times \text{sen } \phi}{\text{cos } h \times \text{cos } \phi}$$

come prodotto del coseno e della tangente dell'angolo (fig. 33).

Sono necessarie inoltre le seguenti grandezze:

- ora considerata (O)
- istante della culminazione (C)
- angolo orario ($O-C$, positivo al pomeriggio) rappresentato da H
- latitudine del luogo di osservazione (ϕ)
- declinazione del Sole al momento considerato (δ).

L'altezza del Sole (h) e l'azimut relativo (A) durante l'arco dell'anno sono dati essenziali per il posizionamento di pannelli solari i quali comunque dovrebbero essere sistemati in modo da sfruttare al massimo il Sole invernale, sacrificando eventualmente qualcosa nel periodo estivo considerato che l'utilizzazione maggiore dell'energia solare prevede il riscaldamento degli ambienti.

Fig. 33. Definizione del seno di un angolo.

IL MOTO DEI PIANETI

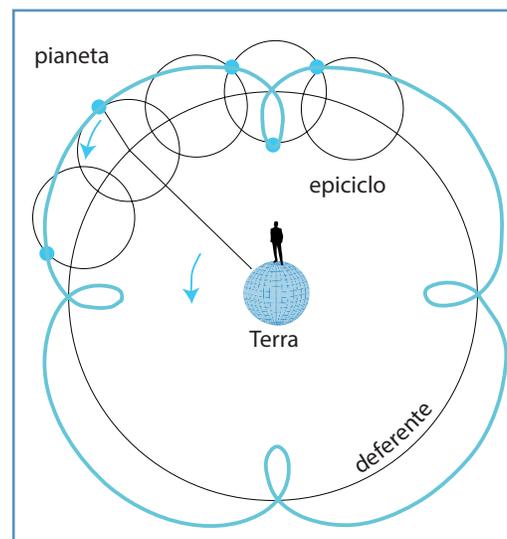
Il nome «pianeta» deriva dal greco e sta a significare «astro errante», indicando chiaramente il comportamento apparente di questi corpi sulla volta celeste. Mentre gli astri che vediamo di notte sono quasi tutti stelle fisse, cioè immutabili anno dopo anno, i pianeti sono astri che si spostano rispetto allo sfondo delle stelle fisse. In *fig. 34* è mostrato il cammino di Giove nella costellazione del Toro: certamente strano quell'andirivieni, quello zigzagare apparentemente senza spiegazione. Nel tentativo di comprendere questi moti gli antichi immaginarono i pianeti incastonati in sfere trasparenti e rotanti (epicicli), il cui centro percorreva con moto uniforme grandi circonferenze centrate sulla Terra (deferenti, *fig. 35*). Keplero invece, perfezionando il sistema copernicano (eliocentrico), spiegò con le sue tre leggi ogni particolarità del moto planetario.

Nei capitoli precedenti le leggi di Keplero sono state utilizzate e commentate, come pure è stato analizzato il moto della Terra, senza però ricorrere alla matematica implicata neces-

sariamente nelle leggi menzionate. Per comprendere il moto apparente degli altri pianeti e della Luna è invece necessario introdurre un minimo di formalismo matematico. Solo un minimo, tuttavia, in quanto è scopo di questo libro mettere il lettore nella condizione di riconoscere un pianeta e capirne il moto, piuttosto che calcolarne con altissimo grado di precisione le coordinate (eclittiche o equatoriali). Per questo e altri scopi si rimanda a opere citate nella bibliografia, in particolare il prezioso *Almanacco* dell'UAI che Giuseppe De Donà compila ogni anno. Le pagine di questo almanacco contengono tutti i dati utili all'osservazione, in particolare all'individuazione dei pianeti del Sistema Solare. Dobbiamo pertanto iniziare dalla Terra, punto di osservazione continuamente variabile nello spazio, dalla

Sotto. *Fig. 34*. Percorso di Giove fra le stelle intorno alla sua opposizione con il Sole.

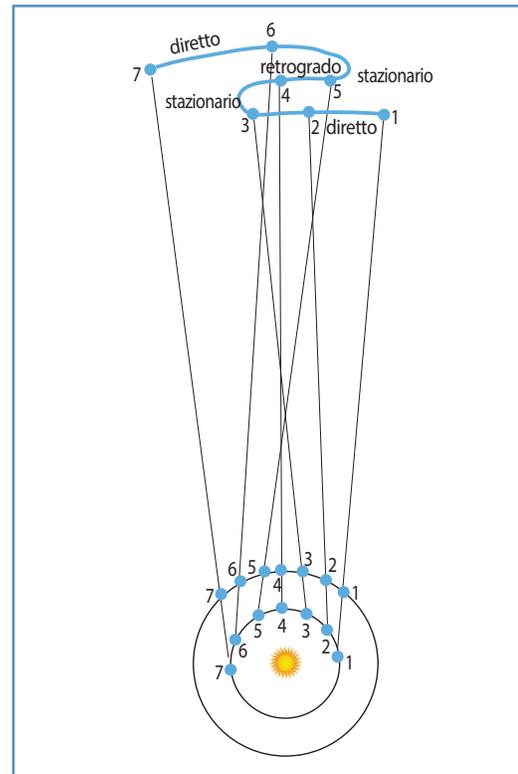
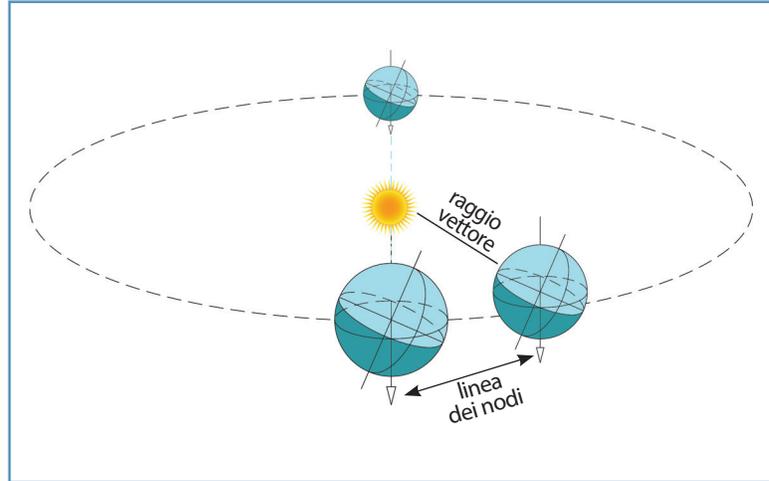
A destra. *Fig. 35*. Fino al 1500 gli astronomi interpretavano l'andirivieni dei pianeti fra le stelle fisse mediante complicati accoppiamenti di moti circolari. Il pianeta era incastonato sulla superficie di una sfera ruotante il cui centro descriveva intorno alla Terra un cerchio (deferente).



quale guardiamo altri corpi anch'essi in movimento.

La *fig. 36* descrive la posizione della Terra nel corso dell'anno. L'equatore terrestre interseca in due punti il piano dell'orbita (cioè il piano dell'eclittica) e solo al momento dei due equinozi tali punti si trovano sul prolungamento del raggio vettore Terra-Sole. La linea che, partendo dalla Terra all'equinozio primaverile, passa per il centro del Sole e si prolunga interseca l'orbita della Terra nel nodo ascendente e individua sulla sfera celeste il punto d'Ariete. Il nodo viene detto ascendente poiché dalla Terra il Sole è visto salire, giorno dopo giorno, al di sopra dell'equatore celeste.

Le considerazioni fatte sin qui ci consentono di spiegare lo strano aspetto del cammino apparente dei pianeti. Con riferimento alla *fig. 37* che riporta le orbite della Terra e di un pianeta esterno (cioè esterno all'orbita terrestre), sono state contrassegnate con uno stesso numero le posizioni contemporaneamente raggiunte dai due pianeti in vicinanza dell'opposizione, quando Sole e pianeta esterno si trovano da parti opposte rispetto alla Terra. E intuitivo che, mentre la Terra viaggia in direzione del pianeta (punti 1-2-3) e questo risulta visibile nella seconda parte della notte, il pianeta esterno sarà visto in moto diretto (verso sinistra dell'osservatore). Quando invece la Terra si muoverà parallelamente al pianeta (punti 4-5), questo, più lento, rimarrà "indietro" e per questo sarà visto muoversi di moto retrogrado (verso destra). Quando infine la Terra procederà nella direzione del pianeta, ma allontanandosi da esso (punti 6-7), risulterà nuovamente percettibile il moto diretto che



Sopra. Fig. 36. Moto reale della Terra intorno al Sole. La linea dei nodi rimane quasi fissa, cioè orientata allo stesso modo per brevi periodi di tempo.

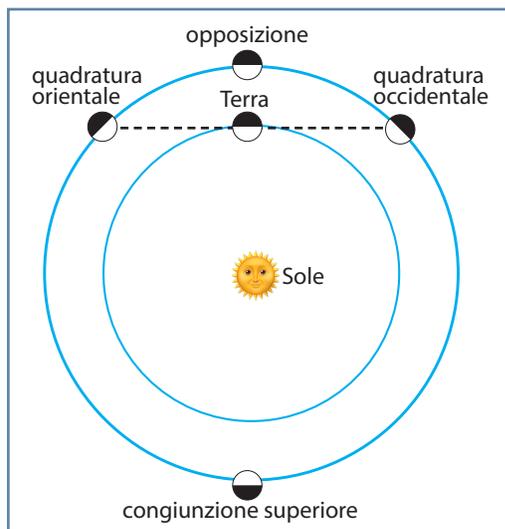
A lato. Fig. 37. Spiegazione del moto apparente dei pianeti esterni fra le stelle.

lo anima: in queste condizioni il pianeta potrà essere osservato di sera.

Quando Terra e pianeta esterno sono da parti opposte rispetto al Sole (v. fig. 38) si dice che il pianeta è in congiunzione con il Sole in quanto, data la piccola inclinazione delle orbite dei pianeti esterni, questi sembrano “congiungersi” all’astro della luce.

Si dice infine che un pianeta esterno è in quadratura con il Sole quando l’angolo formato

Fig. 38. Posizioni particolari di un pianeta esterno rispetto alla Terra e al Sole.



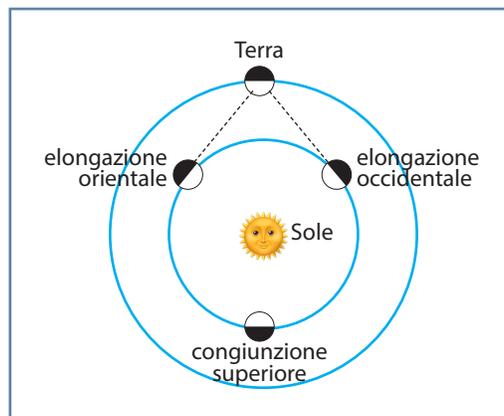
A destra. Fig. 39. Posizioni particolari di un pianeta interno rispetto alla Terra e al Sole.

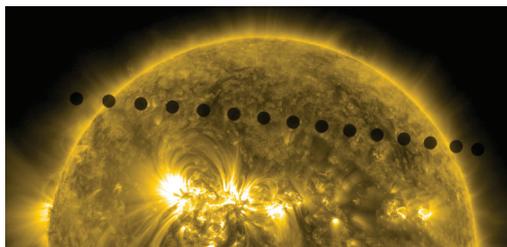
dalle direzioni pianeta-Terra e Terra-Sole è retto (fig. 38). In questa occasione è allora visibile un “effetto di fase”, cioè il disco del pianeta esterno mostra una falce buia.

Un pianeta interno (la cui orbita è interna a quella terrestre) non si allontana mai dal Sole oltre una certa misura, 25° circa per Mercurio e 45° circa per Venere, che questi pianeti raggiungono al momento della cosiddetta *massima elongazione*. Vi può essere elongazione est

oppure ovest a seconda che il pianeta risulti visibile la sera, vicino al Sole che tramonta, oppure in prossimità dell’alba precedendo il Sole che sorge, rispettivamente. Durante la loro rivoluzione (fig. 39) i pianeti interni vengono a trovarsi tra la Terra e il Sole (a volte addirittura transitando apparentemente sul suo disco, fig. 40), in quella che viene chiamata *congiunzione inferiore*. La disposizione che vede i tre corpi ancora allineati, ma Terra e pianeti interni essendo in posizione opposta rispetto al Sole, viene chiamata *congiunzione superiore*. I due aggettivi inferiore e superiore si riferiscono alla distanza Terra-pianeta.

In prossimità della congiunzione superiore un pianeta interno ci mostra la faccia completamente illuminata, ma risulta di difficile osservazione data la apparente vicinanza al Sole e la grande distanza dalla Terra. Con l’avvicinarsi all’elongazione est (fig. 41) il pianeta rivela un crescente effetto di fase simile a quello presentato dalla Luna. La *dicotomia* si verifica quando le direzioni Sole-pianeta e pianeta-Terra formano un angolo retto: si





osserva esattamente metà dell'emisfero illuminato dal Sole. Con l'approssimarsi alla congiunzione inferiore le dimensioni angolari aumenteranno, in ragione della sempre minore distanza Terra-pianeta, ma risulterà visibile una sempre più piccola porzione dell'emisfero illuminato (falce). Alla congiunzione inferiore il pianeta non sarà osservabile sia per la vicinanza al Sole sia per l'esiguità della porzione illuminata, rivolgendosi alla Terra sostanzialmente la sua faccia oscura. Se questa disposizione si realizza in vicinanza dei nodi della sua orbita (punti dove avviene l'intersezione del piano orbitale del pianeta con l'eclittica) il pianeta interno si staglierà sul disco del Sole e lo attraverserà nel fenomeno detto *transito*.

I MOTI DELLA LUNA

La complessità del moto esibito dal nostro satellite naturale pone al di là dei limiti di questo libro un suo studio dettagliato. Si cercherà pertanto di illustrare gli aspetti più cospicui del complesso comportamento lunare senza ambire di calcolarne accuratamente la posizione. In realtà se la Luna si rende visibile non sfugge certamente all'individuazione: si daranno pertanto alcuni elementi utili a prevedere grossolanamente la fase a una



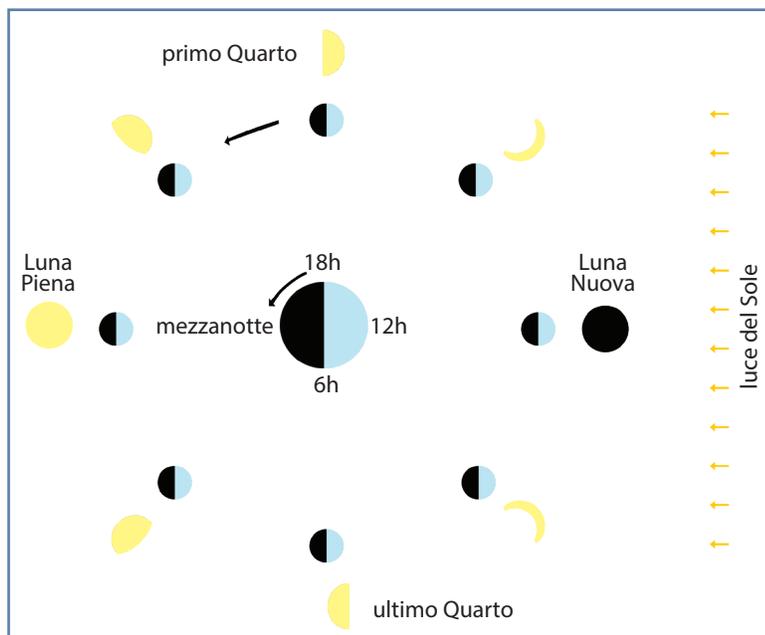
data stabilita al solo scopo di verificare la possibilità di osservazione del nostro satellite.

Già la visione diretta dell'aspetto della superficie lunare mette immediatamente in risalto il fatto che la Luna, pur spostandosi sera dopo sera sullo sfondo delle stelle fisse più velocemente di qualsiasi altro corpo, rivolge costantemente alla Terra la medesima faccia della quale, di volta in volta, ci appare illuminata una frazione sempre maggiore.

La *fig. 42* rende conto del fenomeno, dovuto alla posizione reciproca di tre corpi: Luna, Terra e Sole. La luce di quest'ultimo illumina sempre e solo un emisfero dei corpi che lo attorniano, ma dalla superficie della Terra non risulta sempre osservabile tutto l'emisfero illuminato della Luna in quanto essa descrive un'orbita intorno alla Terra e, relativamente a questa, cambia continuamente posizione tra le stelle fisse. Solo nella fase chiamata Luna Piena, quando Sole e Luna sono da parti opposte rispetto alla Terra, se ne potrà osservare completamente l'emisfero illuminato. Un osservatore attento non tarderà a notare che questa fase si realizza in concomitanza con la possibilità di vedere contemporaneamente il Sole tramon-

A sinistra. Fig. 40. Una sequenza del transito di Venere davanti al Sole del 6 giugno 2012 raccolta dal Solar Dynamics Observatory (SDO). (NASA/SDO, AIA).

Qui sopra. Fig. 41. Aspetti di Venere fra la congiunzione superiore (a destra) e la congiunzione inferiore, in prossimità della quale appare come falce sottile (a sinistra).



Sopra. Fig. 42. Le differenti fasi lunari sono dovute alle varie posizioni della Luna rispetto alla Terra e al Sole.

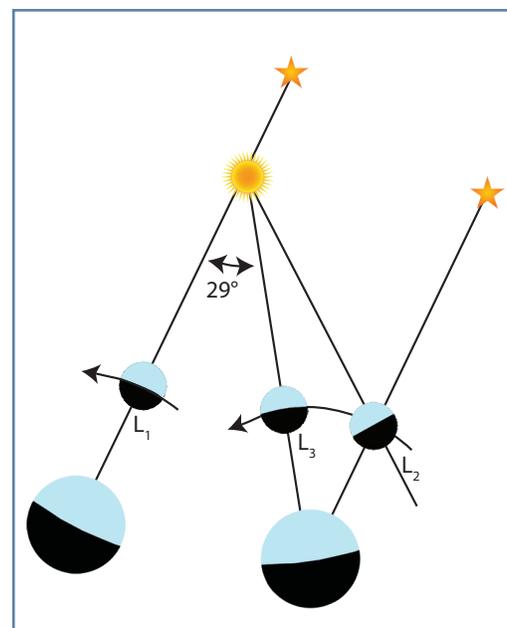
A destra. Fig. 43. mentre la Terra compie un arco di 29° della sua orbita, la Luna passa da L_1 a L_2 , cioè compie un giro intorno alla Terra rispetto alle stelle fisse, ma la sua fase non è quella di L_1 : la Luna deve passare in L_3 perché ciò avvenga.

tare e la Luna sorgere da punti dell'orizzonte quasi diametralmente opposti. La Luna Piena si vedrà quindi durante la notte.

Successivamente a questa fase, a causa del suo moto di rivoluzione, la Luna si sposta in senso diretto, cioè antiorario visto da Nord (verso sinistra dell'osservatore). Come conseguenza si verifica uno sfasamento tra l'emisfero illuminato e la faccia visibile da Terra che rimane sempre la stessa (in media). Uno stesso fenomeno capita alla maggioranza dei satelliti del Sistema Solare, i quali rivolgono sempre la stessa porzione di superficie al loro pianeta (accoppiamento rotazione-rivoluzione).

Rispetto alla luce che viene dal Sole, la Luna ruota intorno a se stessa mentre fa una rivoluzione attorno alla Terra: questo fatto non sfugge all'osservazione strumentale che rivela

come un determinato paesaggio lunare subisce continue variazioni di illuminazione fino a piombare nel buio, in una successione di notti e di analoghi a quelli terrestri. A differenza del nostro, tuttavia, il giorno lunare inteso come intervallo di tempo che intercorre tra due culminazioni successive del Sole allo stesso meridiano lunare (ovvero tra due successivi pleniluni: mese sinodico) dura 29,5306 giorni terrestri. Come risulta dalla *fig. 43*, durante questo tempo la Terra si sposta lungo la sua orbita di circa 29° ($29,5306 \cdot 360^\circ : 365,2422$). È implicito in questo che il tempo impiegato dalla Luna a completare un giro intorno a se stessa, ovvero a percorrere 360° dell'orbita avendo come riferimento le lontanissime stelle, è inferiore: 27,3217 giorni terrestri dura infatti il mese siderale.



Allontanandosi dalla fase di Luna Piena il nostro satellite (*fig. 42*) inizia a mostrare una forma strana: dalla sua destra, e sempre di più ogni giorno, scompare la luce fino a che 7 giorni circa dopo la Luna Piena, nella fase di Ultimo Quarto, non si riesce a scorgere che la metà della faccia rivolta a noi, l'altra metà essendo immersa nella notte. Se si considera che normalmente si osserva circa metà della Luna e in questa fase risulta visibile la metà di questa metà, si comprende il senso della definizione di quarto che viene data a questa fase. La Luna si trova in quadratura poiché la direzione Terra-Luna forma un angolo retto con la direzione Luna-Sole. Si osservi ancora da quale luogo della Terra è possibile vedere la Luna in questa fase: da un luogo sul quale, a causa del moto diurno del nostro pianeta, sta per sorgere il Sole, quindi verso l'alba e comunque nella seconda metà della notte.

Il moto prosegue, inarrestabile e apparentemente regolare, portando la Luna sempre più vicina al Sole: in queste fasi infatti il nostro satellite è ben visibile quando il Sole è già sorto e ci si rende conto che la Luna rivolge il suo bordo illuminato verso il Sole. Un detto popolare, che chiama "gobba" il bordo lunare, ricorda: "gobba a levante, Luna calante". Cala infatti la superficie che appare illuminata, diminuisce la luce solare che lei ci riflette, diminuisce infine apparentemente la distanza angolare dal Sole.

A poco meno di 15 giorni di distanza dalla Luna Piena il nostro satellite non è più osservabile, trovandosi in una posizione compresa tra noi e il Sole e mostrandoci

perciò il suo lato oscuro. La Luna Nuova è come se stesse preparandosi per rinascere, come dice il suo nome. Si trova inoltre in una posizione che, date le dimensioni apparenti molto vicine, potrebbe implicare un mascheramento del Sole qualora il cammino abituale non portasse il nostro satellite a transitare ora sopra ora sotto l'astro del giorno. Le eclissi si verificano quando la Luna si trova lungo la linea dei nodi della sua orbita.

Qualche tempo dopo la Luna Nuova (il record è di circa 14 ore) si rende visibile, nei rossi bagliori del tramonto, una sottilissima falce: la Luna comincia ad apparire alla sinistra del Sole che tramonta. "Gobba a ponente Luna crescente", ricorda ancora il saggio detto. Se il cielo è scuro si può scorgere, rischiarato dai raggi solari riflessi dalla Terra (chiaro di Terra sulla Luna) il disco lunare non ancora colpito dai raggi solari (luce cinerea).

Dopo la Luna Nuova passano poco più di 7 giorni ed essa si porta in quadratura: il Primo Quarto si rende ben visibile stagliandosi vicino al meridiano al tramonto del Sole e risultando quindi osservabile per tutta la prima metà della notte. Sono le condizioni migliori sia, come si dirà, per l'illuminazione del suolo lunare, sia per le favorevoli condizioni termiche e per l'orario comodo.

Ancora poco più di 7 giorni ed è di nuovo Luna Piena, in un ciclo che si ripete in media ogni 29,5306 giorni terrestri.

Un'accurata analisi del moto lunare rivela che essa non gira semplicemente

◦ La legge di Newton afferma che la forza F con la quale si attraggono due corpi di massa M e m è proporzionale al prodotto di queste masse diviso per il quadrato della distanza d che le separa.

$$F = G \cdot M \cdot m / d^2$$

dove G è la costante di gravitazione universale (o di Cavendish). Per le coppie Sole-Luna e Terra-Luna si può scrivere:

$$F_{SL} = G M_S m_L / UA^2$$

$$F_{TL} = G M_T m_L / d^2$$

dove M_S , M_T e m_L sono rispettivamente le masse del Sole, della Terra e della Luna, UA l'Unità Astronomica e infine d la distanza Terra-Luna. Dividendo membro a membro le due ultime eguaglianze si ha:

$$\frac{F_{SL}}{F_{TL}} = \frac{M_S}{M_T} \cdot \frac{d^2}{UA^2} = 333\,000 \cdot \frac{380\,000^2}{150\,000\,000^2} = 2,14$$

Fig. 44. Le orbite della Luna e della Terra sono entrambe concave nei confronti del Sole.

intorno alla Terra in quanto la forza gravitazionale di quest'ultima è inferiore alla metà della forza esercitata sulla Luna dal Sole.◦

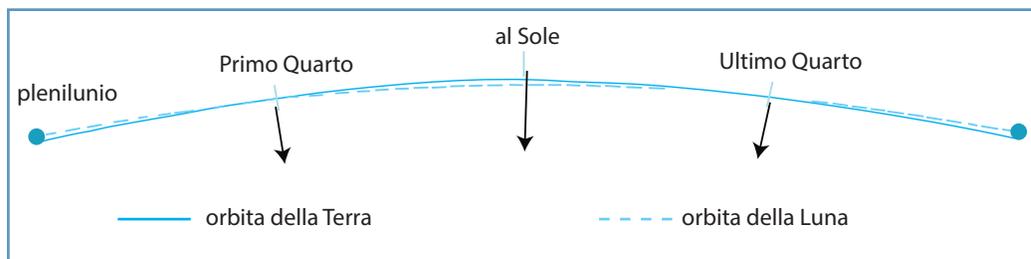
Una conseguenza di questo è illustrata nella fig. 44, che è rigorosamente in scala, dalla quale risulta che l'orbita lunare è sempre concava verso il Sole: la Luna è pertanto un corpo che gira intorno al Sole ed è perturbato dalla Terra.

Le leggi della gravitazione, che tanti servizi hanno reso nello studio del moto di due corpi, sono applicabili solo a patto di grandi complicazioni nella risoluzione di problemi a tre corpi ed è per questa ragione che lo studio del moto lunare è intrinsecamente molto difficile. L'orbita lunare ha un'eccentricità non trascurabile (0,0549) che varia in continuazione a causa dell'attrazione solare (evezione). Il piano dell'orbita è inclinato di $5,14^\circ$ sull'eclittica e a causa di ciò il moto apparente della Luna può essere anche molto diverso dal cammino apparente del Sole. In particolare la Luna può culminare a un'altezza superiore alla massima raggiunta dal Sole oppure inferiore alla minima toccata dal Sole d'inverno.

A causa dell'azione gravitazionale del

Sole, ma anche di altri pianeti (Venere e Giove soprattutto) la linea dei nodi, intersezione tra l'orbita lunare e l'eclittica, ruota in senso orario (*retrogradazione*) in 18,61 anni. Quando la linea dei nodi è diretta verso il Sole, cosa che si verifica durante 18,61 anni in punti continuamente variabili dell'eclittica e quindi a date variabili, se la Luna si trova esattamente su uno dei due nodi si realizza un'eclisse (fig. 45). Si avrà eclisse di Sole quando la Luna si troverà al nodo rivolto verso il Sole, in concomitanza quindi a un novilunio, mentre si avrà eclisse di Luna quando questa, all'altro nodo è quindi in fase di Luna Piena, si immergerà nell'ombra terrestre.

Come mostrato in fig. 46 i coni d'ombra di un corpo illuminato dal Sole sono costituiti di due parti: l'ombra vera e propria, dove la luce del Sole non cade direttamente (eclisse totale); la penombra, costituita dai luoghi dai quali è osservabile una parte della superficie solare (eclisse parziale o di penombra). La lunghezza del cono d'ombra della Luna è così vicina alla distanza Terra-Luna che l'ombra a volte tocca, a volte non tocca la superficie terrestre: nel secondo caso si ha eclisse anulare (fig. 47).



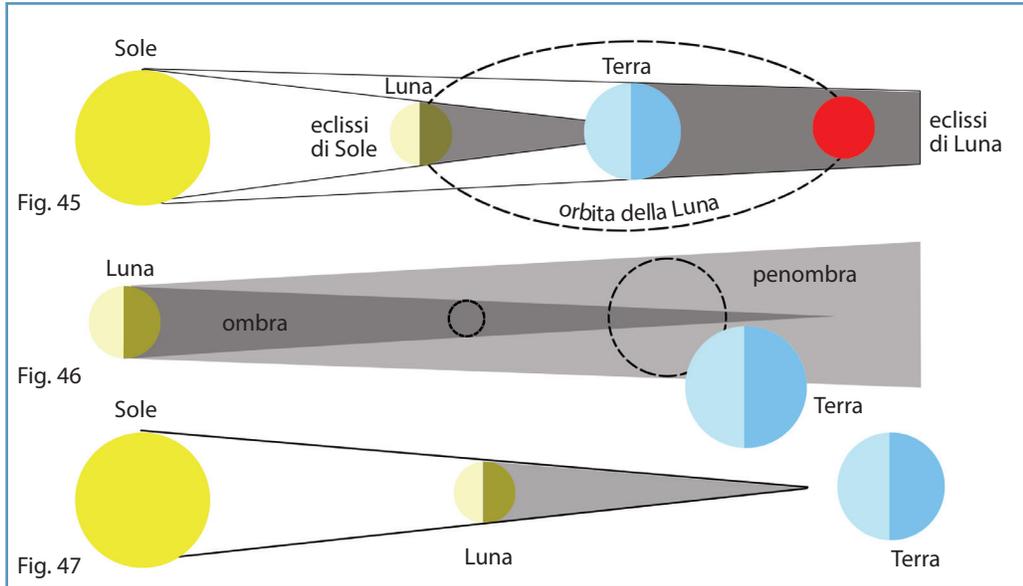


Fig. 45. schema delle eclissi di Sole e di Luna.

Fig. 46. Ombra e penombra della Luna possono interessare, oppure no, la Terra a seconda della posizione di questa.

Fig. 47. In questa eclisse di Sole l'ombra della Luna non raggiunge la Terra. Possiamo vedere un anello della fotosfera, da cui la definizione di eclisse anulare.

La rotazione della linea dei nodi si compie in senso retrogrado in modo che i passaggi della Luna allo stesso nodo si ripetono con un periodo inferiore al mese siderale. Il mese draconico dura infatti 27,2122 giorni terrestri. Questo porta come conseguenza che le eclissi tendono a spostarsi a ritroso lungo le stagioni con il procedere degli anni. Dopo 18,61 anni la linea dei nodi avrà percorso un intero giro e le eclissi si ripeteranno quasi esattamente nelle stesse date dell'anno. Un'analoga ciclicità coinvolge anche le fasi lunari, da cui la possibilità di prevederle. Essendo la durata di una lunazione circa 29,5 giorni, in un anno comune di 365 giorni sono contenute 12 lunazioni che riempiono 354 giorni: avanzano 11 giorni fino al 31 dicembre. Conoscendo l'età



della Luna al 31/12 di un certo anno (supponiamo che coincida con la Luna Nuova di età 0) al 31/12 dell'anno successivo l'età della Luna sarà 11 giorni, al 31/12 del terzo anno sarà 22 giorni, al 31/12 del quarto sarà di 33 giorni. L'ultimo numero corrisponde a un'intera lunazione più 3 giorni della successiva. L'età della Luna al 31/12 (*epatta*) è quindi rappresentata dalla serie:

0, XI, XXII, III, XIV, XXV, VI, XVII, XXIX, X, XXI, II, XIII, XXIV, V, XVI, XXVII, VIII, XIX.

Con il ventesimo anno la serie si ripete. Il *ciclo metonico* di 19 anni, annunciata ai greci da Metone durante la 86° Olimpiade, destò tanto entusiasmo che fu decretato di inciderlo a lettere d'oro sui monumenti pubblici. Da qui la definizione di *numero aureo* che rappresenta il numero d'ordine delle varie epatte con la corrispondenza che risulta dalla tabella riportata a pag. 6 dell'Almanacco UAI. Il numero d'oro si trova sommando 1 all'anno in esame e dividendo la somma per 19: il numero risultante viene privato della parte intera e le cifre dopo la virgola (resto) vengono moltiplicate per 19. Per esempio il numero d'oro corrispondente al 2024 è:

$$\text{Numero d'oro} = \frac{2024 + 1}{19} = 106,5789; \\ 0,5789 \cdot 19 = 11$$

In corrispondenza di questo numero d'oro, la tabella riportata a pag. 6 dell'Alma-

nacco UAI rivela che la relativa epatta è XIX. La fase lunare in qualsiasi giorno dell'anno è data dalla somma:

fase = epatta + numero del mese + giorni del mese

dove per numero del mese si intende 1 per gennaio, 2 per febbraio, 1 per marzo e poi di seguito fino a 10 per dicembre. Per esempio, l'età approssimata della Luna il 18 ottobre 2024 è:

$$19 + 8 + 18 = 45; 45 - 30 = 15$$

quindi dovrebbe essere vicina alla Luna Piena. Dalle effemeridi dell'Almanacco UAI del 2024 risulta che la Luna Piena si verifica il 17 ottobre 2024 alle ore 11:26. Le perturbazioni considerate hanno inoltre l'effetto di modificare continuamente l'orientazione dell'asse maggiore dell'orbita, quindi del perigeo, il quale avanza con moto diretto a una velocità tale da completare un giro in 8,85 anni. Questo implica una continua variazione rispetto alle coordinate eclittiche del tratto di orbita descritto a una data velocità, la massima per esempio. In tal modo il moto medio lunare, che dovrebbe ammontare a $360^\circ : 27,3217 = 13,2$ gradi al giorno se l'orbita fosse circolare, può essere ridotto o aumentato a tal punto che, combinandosi anche con altri effetti, provoca una cospicua variazione nel ritardo con cui la Luna sorge giorno dopo giorno. Tale ritardo, che in media ammonta a circa 50

minuti, può accorciarsi fino a una decina di minuti o allungarsi fino a circa 65 minuti.

A complicare ancora le cose, l'asse di rotazione della Luna è inclinato di $6,7803^\circ$ sulla perpendicolare al suo piano orbitale e di $1,5350^\circ$ sulla perpendicolare al piano dell'eclittica. Rispetto a questa, l'asse lunare presenta un moto di precessione sincrono e parallelo alla precessione della linea dei nodi (18,61 anni) come mostra la *fig. 48*.

Ma non tutto il male viene per nuocere: l'insieme delle stranezze esibite dal moto lunare ne provoca un'oscillazione ben evidente (librazione) grazie alla quale è possibile osservare il 59% della sua superficie. Questo fenomeno è in realtà composto da una librazione in latitudine, originata dall'inclinazione sul piano orbitale dell'equatore lunare (*fig. 49*), da una librazione in longitudine causata dalla variabile velocità orbitale (*fig. 50*), dalla librazione diurna (fra sorgere e tramontare sull'orizzonte dell'osservatore) e da una librazione fisica (molto modesta) cioè una vera e propria oscillazione della Luna nello spazio.

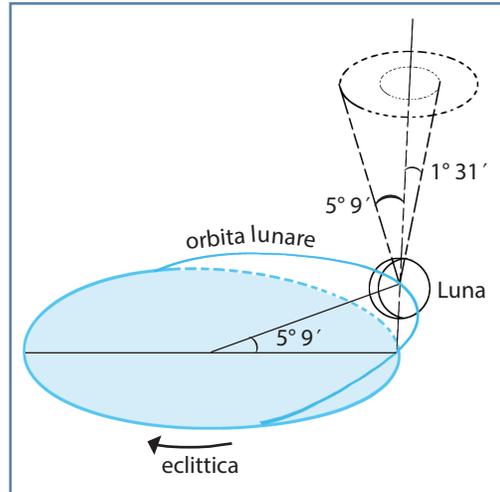


Fig. 48. Caratteristiche dell'orbita lunare e del suo globo.

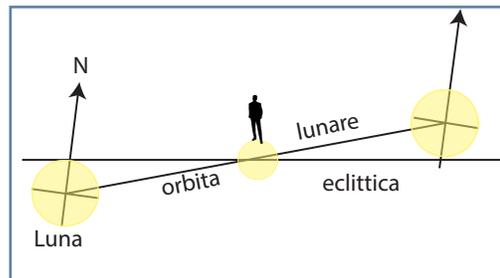


Fig. 49. La librazione in latitudine è dovuta al fatto che, da Terra possiamo vedere oltre i Poli lunari a causa dell'inclinazione dell'orbita lunare rispetto all'eclittica.

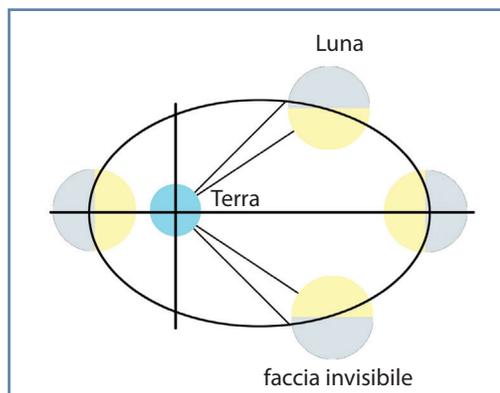


Fig. 50. La librazione in longitudine è dovuta al fatto che la Luna ruota intorno a se stessa in modo costante ma percorre i vari tratti dell'orbita a varie velocità. In tal modo si possono vedere differenti porzioni della faccia mediamente nascosta (in grigio).

GLI STRUMENTI DI OSSERVAZIONE

Quando una lente sagomata opportunamente rende convergenti i raggi di luce emessi in ogni direzione da un corpo (fig. 51), nel luogo in cui i raggi convergono si forma un'immagine reale del corpo stesso. Un'immagine reale può essere raccolta su uno schermo oppure osservata in dettaglio con un microscopio. È nota per esempio la possibilità di incendiare del materiale combustibile facendovi cadere l'immagine reale del Sole formata da una lente.

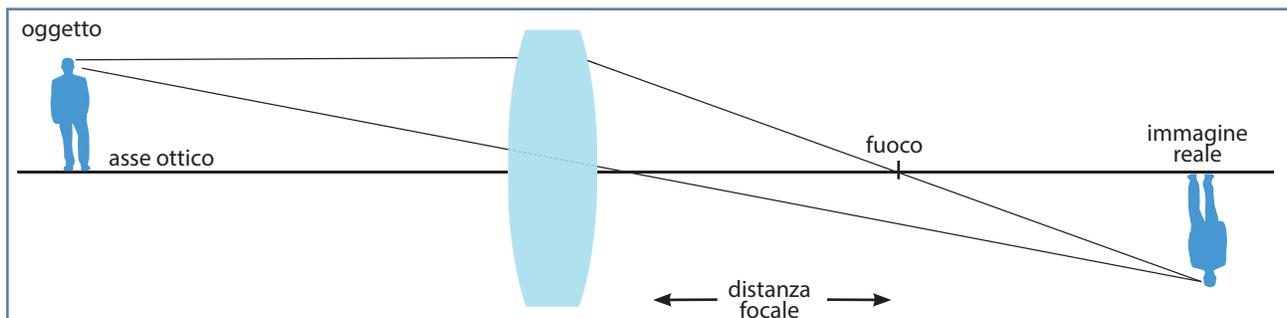
Due semplici regole (fig. 51) permettono di descrivere graficamente il funzionamento di una lente:

- 1) i raggi che, provenendo dall'oggetto in osservazione, viaggiano parallelamente all'asse ottico della lente vengono deviati in modo da passare per un punto particolare detto *fuoco*. La distanza tra la lente e il suo fuoco viene detta *distanza focale* (F).

- 2) i raggi che passano attraverso la parte centrale di una lente, dove le superfici sono parallele, non subiscono deviazione alcuna. Ogni strumento astronomico (in fig. 52 un cannocchiale) è composto da un obiettivo, che dà l'immagine reale del soggetto, e da un

sistema di lenti che funziona come un microscopio per l'osservazione ingrandita dell'immagine reale (oculare). La sua utilità si valuta in due modi: da un lato esso fornisce all'occhio una quantità di luce maggiore di quella che l'occhio disarmato potrebbe cogliere; inoltre l'immagine reale può essere ingrandita a seconda della comodità, sebbene non si possa spingere l'ingrandimento oltre certi limiti. Osservando la fig. 52 si comprende che ogni porzione della lente obbiettivo (eccetto che sull'asse ottico) è paragonabile a un prisma. Pertanto le immagini reali fornite da lenti semplici sono affette da aloni di vari colori (aberrazione cromatica) che disturbano l'osservazione. Combinando due lenti opportune, una corregge il cromatismo dell'altra e si ottiene un obiettivo acromatico (per esempio di una lente biconvessa di vetro crown e una piano-concava di vetro flint). Tuttavia anche una combinazione di questo tipo presenta deboli aloni colorati, gialli o violetti a seconda del progetto ottico. Per eliminare totalmente il cromatismo, e realizzare un cannocchiale

Fig 51. Una lente semplice convergente (biconvessa o piano-convessa) forma un'immagine reale del corpo inquadrato secondo questo schema. Si noti che l'immagine reale è capovolta rispetto all'originale: per questo gli strumenti astronomici danno immagini capovolte.



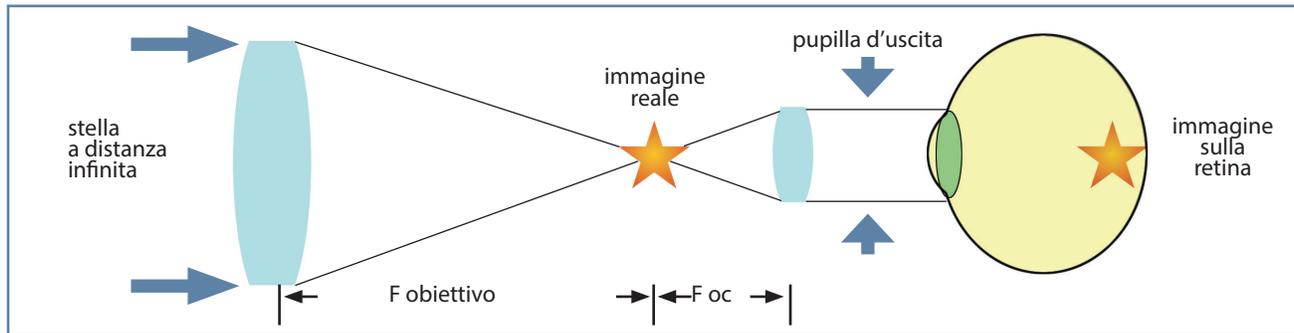


Fig 52. Schema di un cannocchiale: l'obiettivo cattura la luce di una stella e la fa convergere al fuoco formandovi un'immagine reale. Dopo il fuoco, una lente oculare rende paralleli i raggi che divergono dal fuoco e possono così entrare nella pupilla dell'osservatore. Qui, la lente cristallina focalizza la luce sulla retina dove si forma una nuova immagine reale della stella, più grande di quella visibile a occhio nudo.

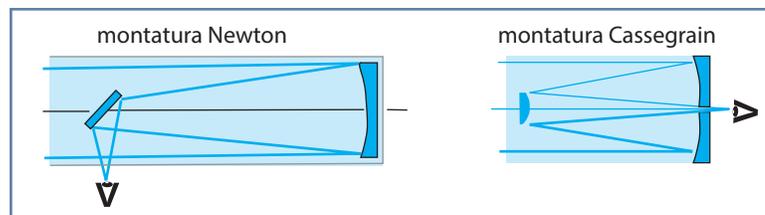
apocromatico, un tempo si usava una terza lente; oggi si usano coppie di vetri di caratteristiche eccezionali (sigla ED). Un apocromatico rappresenta certamente uno standard di perfezione se le superfici delle lenti sono state lavorate a regola d'arte (difetti al di sotto del limite di Rayleigh).

Oltre a strumenti totalmente costituiti di lenti (rifrattori) sono stati sviluppati, a partire da Newton, strumenti che usano quale obiettivo uno specchio concavo e uno specchietto che devia i raggi o lateralmente (riflettori Newtoniani) o verso lo stesso specchio, che in tal caso è forato (Cassegrain, fig. 53). Sebbene la funzione ottica dei due tipi di strumenti sia equivalente, anzi gli specchi presentino il vantaggio di una perfetta resa dei colori (perfetto acromatismo), la necessità di introdurre un ulteriore elemento nel cammino ottico (specchietto secondario) di un riflettore porta con sé conseguenze dannose per il dettaglio dell'immagine.

È frequente sentire pareri molto critici sulla resa ottica di un riflettore se paragonata

a quella di un rifrattore di pari diametro. In realtà, se si ha cura di progettare bene il riflettore, limitando l'otturazione dovuta allo specchio secondario a meno di 1/10 del diametro dell'obiettivo e lo spessore di tutti gli altri ostacoli sul cammino ottico (lamine, tiranti, ecc.) a meno di 1/100 di D , si otterrà una resa ottica difficilmente distinguibile da quella di un rifrattore di pari diametro. Nel mercato, allo scopo di contenere la lunghezza dello strumento, si usano obiettivi di corta focale (4-6 volte il diametro D dello specchio obiettivo). In tal caso è impossibile impiegare specchietti secondari di diametro $D/10$ e ci si accontenta di diametri maggiori, solitamente $D/4$ circa, che riducono il rendimento del telescopio, ma in maniera non drammatica.

Sotto. Fig 53. Due tipici esempi di telescopi riflettori. La luce delle stelle cade sullo specchio principale che la riflette, facendola convergere al fuoco. Prima di raggiungere il fuoco, il fascio convergente viene deviato di 90° mediante uno specchietto secondario piano (riflettore Newton) o rinviato verso lo specchio principale da uno specchietto convesso (riflettore Cassegrain). Nel secondo caso lo specchio principale è forato per rendere accessibile il fuoco all'esterno.



Una regola empirica suggerisce che sottraendo a D il diametro (o l'asse minore) del secondario si ottiene il diametro di un rifrattore equivalente. Un 200 mm con un secondario di 50 mm equivarrebbe a un rifrattore di 150 mm: questo per il potere risolutivo, per la luminosità la differenza è molto più modesta.

Oggi il mercato offre un terzo tipo di telescopio, detto *catadiottrico*, che è un riflettore di tipo Cassegrain munito anteriormente di una lastra correttrice (piano-asferica o menisco). Se la lastra correttrice è piano-asferica si ha un telescopio denominato Schmidt-Cassegrain. Se la lastra è un menisco (un blocco di vetro ottico compreso fra due sfere opportune) il telescopio è denominato Maksutov.

In pratica, un telescopio può consentire di osservare distinti due punti, per esempio due stelle vicine, purché la loro distanza non sia inferiore al *potere separatore* strumentale ρ , definito come segue:

$$\rho = \frac{120}{D(\text{mm})} \text{ secondi d'arco}$$

dove D rappresenta il diametro dell'obiet-

tivo. Un rifrattore commerciale da 60 mm non riuscirà pertanto a separare due punti più vicini di 2", mentre uno da 120 mm rivelerà particolari distanti 1". La tabella qui sotto fornisce le dimensioni in chilometri dei più minuti particolari osservabili in campo planetario con vari obiettivi.

Il potere separatore è una caratteristica dell'obiettivo e quindi dell'immagine reale che esso offre. Poiché i dettagli di questa immagine devono risultare accessibili, all'occhio (o a un altro tipo di rivelatore), le loro dimensioni devono essere portate al livello del rivelatore impiegato. Nel caso delle osservazioni visuali l'occhio possiede in media un potere separatore di circa 120": è a questo valore che andrà ampliato il potere separatore strumentale. Il fattore di ingrandimento sarà:

$$\begin{aligned} \text{ingrandimento} &= X = 120'' \text{ (occhio)} \\ \rho'' &= \frac{120}{(120/D)} = D \text{ mm} \end{aligned}$$

cioè l'ingrandimento ottimale è numericamente uguale al diametro dell'obiettivo

Risultati ottimali raggiungibili in funzione del diametro dello strumento di osservazione in condizioni atmosferiche perfette.

Diametro mm	Potere separatore ρ''	Dimensioni minime km			Giove	Magnitudine limite	
		Luna crateri	Venere solchi	Marte		visuale	fotografica
60	2	4	0,2	650	6500	11	14
80	1,5	3	0,16	450	4500	12	15
150	0,8	1,5	0,12	250	2500	13	16
200	0,6	1,2	0,1	180	1800	13,5	16,5
250	0,5	1,0	0,08	150	1500	14	17
300	0,4	0,8	0,06	120	1200	14,5	17,5
400	0,3	0,6	0,05	100	1000	15	18

espresso in millimetri (ingrandimento risolvente). Si possono raggiungere ingrandimenti maggiori ma non conviene mai superare 2D ingrandimenti.

L'ingrandimento fornito da un sistema ottico è dato dal rapporto tra la distanza focale dell'obiettivo e la distanza focale dell'oculare (nella stessa unità di misura, *fig. 52*). Poiché è usuale fornire per un obiettivo il suo diametro (D) e, in luogo della distanza focale, il rapporto focale (o luminosità):

$$\frac{F}{D} = \text{distanza focale} / \text{diametro}$$

la distanza focale dell'oculare che consente di ottenere l'ingrandimento risolvente X è, in millimetri, uguale al rapporto $\frac{F}{D}$. Infatti:

$$X = \frac{F_{ob}}{F_{oc}} = \left(\frac{F}{D}\right) \cdot \left(\frac{D}{F_{oc}}\right);$$

$$D = \frac{F}{D} \cdot \frac{D}{F_{oc}};$$

$$F_{oc} = \frac{F}{D}$$

Un modo alternativo di definire l'ingrandimento (e di misurarlo) è dato dal rapporto tra il diametro obiettivo D e quello del fascio di luce che esce dall'oculare, determinato dal disco nitido raccogliabile su uno schermo quando lo strumento a fuoco sia puntato verso un oggetto luminoso (cielo, Luna, Sole). Questo disco viene chiamato anche pupilla d'uscita strumentale (Pu) in *fig. 52*. Pertanto:

$$X = \frac{D \text{ mm}}{P_u \text{ mm}}$$

Allo scopo di utilizzare tutta la luce fornita da un obiettivo è necessario che le dimensioni della pupilla d'uscita strumentale non superino quelle della pupilla umana media in condizioni di osservazione astronomica. Se si eccettuano i casi di corpi eccezionalmente luminosi, come Sole e Luna, per la pupilla umana media in visione notturna si può assumere un diametro di 6 mm. Questo fissa l'ingrandimento minimo da applicare a un dato strumento:

$$X_{\min} = \frac{D \text{ mm}}{6 \text{ mm}} = \frac{D}{6}$$

L'ingrandimento minimo è particolarmente indicato quando si voglia disporre di tutta la luce raccolta dallo strumento senza l'impellente necessità di disporre di immagini molto estese, quindi mentre si osservano comete, nebulose, galassie, ammassi stellari.

IL BINOCOLO

Il primo tra gli strumenti che saranno presentati, tanto utile che da solo è in grado di appagare alcune delle più sentite aspirazioni del dilettante di astronomia, è il binocolo. Nelle sue forme più classiche (8X30, 7X50) è probabilmente già in possesso della maggior parte dei curiosi della natura. In edizioni più sofisticate (10X80 e su fino ai 100X120 e oltre) diventa uno strumento esigente, che richiede una sistemazione solida, ma che dà emozioni veramente ripaganti. Un binocolo può inquadrare ampie porzioni circolari di cielo, di diametro 1-10°, inversamente proporzionale agli ingrandimenti. Osservare

con entrambi gli occhi, poi, è comodo e incrementa la capacità di scorgere dettagli.

I numeri usati nelle sigle commerciali dei binocoli rappresentano gli ingrandimenti forniti (8X ... 100X negli esempi visti) seguiti dal diametro degli obiettivi (30, 50, 80, 120 millimetri rispettivamente). Fra le scritte incise vi è spesso anche il campo in gradi.

La luminosità apparente di un soggetto viene modificata guardando attraverso uno strumento: per un binocolo si può farsene un'idea prendendo l'ingrandimento elevato al quadrato (X^2) come indice del peggioramento di luminosità; il rapporto tra il diametro obiettivo e l'apertura pupillare media ($D/6\text{mm}$) elevato anch'esso al quadrato per indicare il guadagno di luminosità. Nel caso di un binocolo 8X30: peggioramento $8 \cdot 8 = 64$; miglioramento $(30/6)^2 = 25$; usando questo binocolo la luminosità apparente del soggetto inquadrato sarà più bassa di quella del soggetto visto a occhio nudo. Esempio di un 7X50: peggioramento = 49; miglioramento = 69: con questo binocolo si otterrà una luminosità del soggetto leggermente superiore a quella della visione oculare.

I TELESCOPI

A proposito di telescopi si deve considerare che la precisione con cui deve essere eseguita la lavorazione ottica di uno specchio è almeno quattro volte maggiore di quella sufficiente per una lente: costruttori poco onesti o poco abili hanno frequentemente posto sul mercato specchi molto lontani da queste stringenti necessità, determinando la sfiducia nei confronti dei riflettori. È facile rovinare una reputazio-

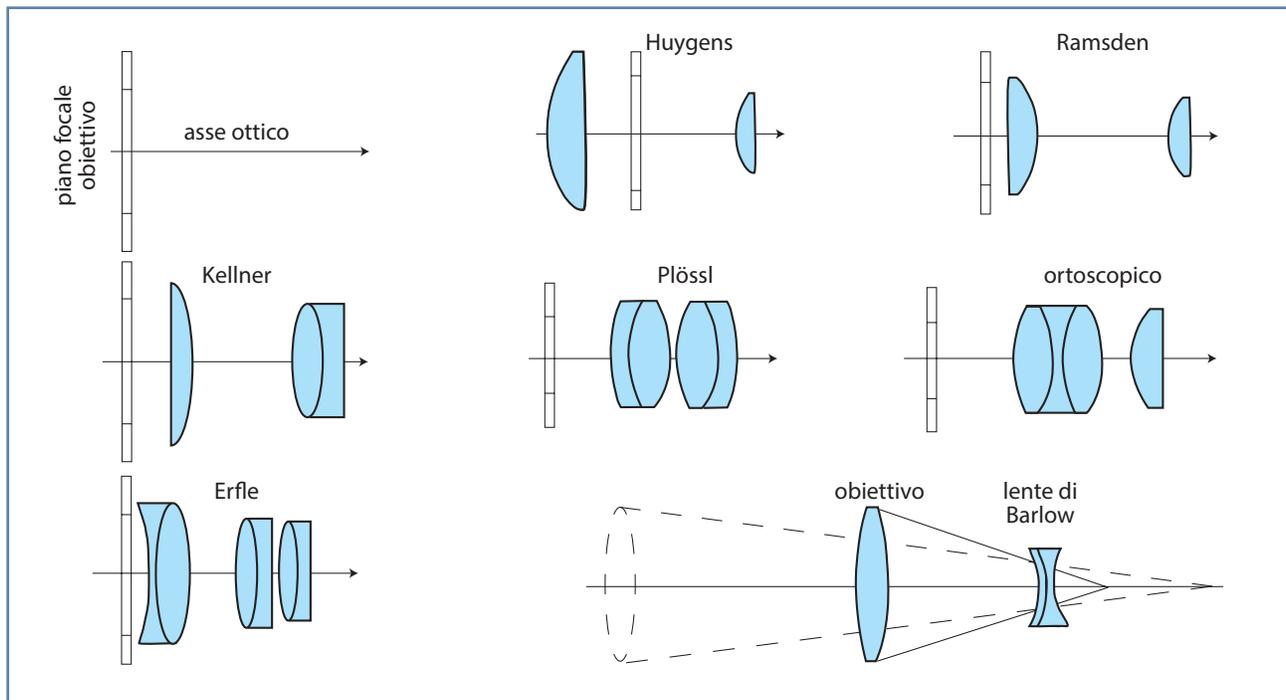
ne, dopo di che è molto difficile ripristinarne una buona. Attualmente le ottiche sono fatte quasi tutte in Cina, dove si sono raggiunti ottimi standard di lavorazione.

Dal punto di vista economico, e a parità di diametro obiettivo, gli strumenti più costosi sono i rifrattori apocromatici, cioè esenti da aberrazione cromatica (aloni colorati intorno ai particolari). Seguono i classici acromatici, il cui acquisto è giustificato se di diametro importante (almeno 150 mm), perché si potrà combattere il cromatismo residuo con filtri opportuni. Seguono i catadiottrici (SC e M) e infine i Newtoniani, che hanno solo uno specchio come obiettivo.

Negli ultimi anni sono molto diffusi Newtoniani dotati di una montatura altazimutale (Dobson) che, essendo poco sofisticata, raggiungono il minimo costo. In realtà, per un supplemento di spesa non enorme, i Dobson possono essere dotati di motorizzazione computerizzata che permette loro di puntare e inseguire automaticamente qualsiasi astro. In caso di impiego fotografico, rimane da correggere una rotazione del campo inquadrato rispetto al sensore, cosa che si può fare con l'acquisto di un derotatore di campo.

GLI OCULARI

Il rendimento all'osservazione di un buon obiettivo può essere molto ridotta dall'impiego di un oculare scadente. Molto spesso, strumenti commerciali corredati da oculari di dozzina, lasciano insoddisfatti i proprietari, pur essendo dotati di obiettivi decorosi. Il progetto ottico degli oculari è altrettanto critico



di quello di un obiettivo ma, soprattutto, la maggior parte degli oculari commerciali non si adatta a qualsiasi strumento (fig. 54). Per esempio, un oculare Huygens che funziona ai limiti della decenza se accoppiato a un rifrattore avente $F/D > 10$, equivale a un fondo di bicchiere se accoppiato a un obiettivo a specchio avente $F/D < 6$. Un oculare Ramsden, o meglio la sua versione acromatizzata (Kellner), rappresenta un minimo per un buon telescopio, al quale dovrebbero essere di corredo oculari ortoscopici (OR), simmetrici (Plössl) o complessi (Erfle). È certamente vero che, con il migliorare della qualità dell'oculare cresce il suo prezzo,

ma oggi le produzioni cinesi offrono ottimi articoli a prezzi contenuti. Non è poi necessario spendere una fortuna poiché sono normalmente sufficienti due buoni oculari e una "lente di Barlow" per soddisfare tutte le esigenze osservative. I due oculari dovrebbero fornire l'ingrandimento minimo ($D/6$) e la metà dell'ingrandimento risolvvente ($D/2$). Con l'impiego della Barlow 2X ciascuno oculare potrà fornire ingrandimenti di valore doppio (quindi $D/3$ e D).

La lente di Barlow allunga il fascio di luce convergente verso il fuoco, come illustrato in fig. 54 e, sebbene lavori normalmente come duplicatore di focale (2X), è possibile tirarla fino a "triplicatore" giocando sulla di-

Fig 54. Schemi ottici di vari tipi di oculare e funzionamento della lente di Barlow, una lente negativa che fa divergere i raggi dell'obiettivo che convergono al fuoco. Di conseguenza il fuoco si allontana dall'obiettivo, che risulta così possedere una focale più lunga dell'originale.

Fig 55. Una montatura equatoriale regge il telescopio mediante una forcella (o altro aggrappo) che è libera di ruotare grazie a un asse che va orientato parallelamente all'asse di rotazione della Terra. La rotazione del telescopio compensa quella terrestre, rimanendo puntato sull'astro che interessa osservare.

stanza Barlow-oculare tramite opportuni tubi che si possono auto costruire (questo non è vero con le Barlow Powermate).

Per conoscere le dimensioni del campo inquadrato da un telescopio (FOV in inglese: *field of view*), è sufficiente fare il rapporto fra il campo apparente dell'oculare (un Plössl ha solitamente 52°) e l'ingrandimento realizzato, supponiamo 100X. Il campo apparente risulta:

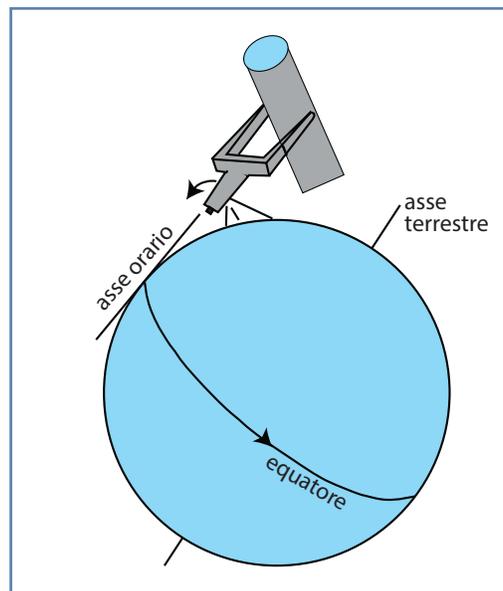
$$FOV = \frac{52^\circ}{100X} = 0,52^\circ$$

Con questa combinazione si inquadra completamente la Luna.

LE MONTATURE

Per potersi dirigere verso un qualsiasi campo stellare, un telescopio deve muoversi attorno a due assi perpendicolari, uno dei quali è convenientemente parallelo all'asse terrestre (fig. 55, montatura equatoriale). Puntato quindi il corpo celeste, è sufficiente muovere lo strumento attorno a questo asse (asse orario), in modo automatico o manuale, per compensare il moto di rotazione terrestre, mantenendo sotto osservazione la zona di cielo interessata. In strumenti economici i due assi sono uno verticale e l'altro orizzontale (montatura altazimutale): l'utilizzazione astronomica implica una coppia di movimenti, che si rischia di effettuare erroneamente e può provocare scoraggiamento e scarso rendimento nell'osservazione.

Una montatura con asse orario orientabile (cioè "equatoriale") è veramente utile solo se correttamente orientata, altrimenti di-



venta più fastidiosa di un'altazimutale. È necessario prima di tutto inclinare l'asse alla latitudine del luogo per orientarlo poi, grossolanamente, verso la stella Polare. Si punta col telescopio un astro nei pressi dello Zenit e lo si insegue per qualche minuto: se la montatura è correttamente orientata in azimut il corpo osservato deve restare al centro del campo visivo. Se si osservano spostamenti è necessario mutare l'azimut dell'asse orario. Se per correggere si deve alzare lo strumento significa che l'estremità Nord dell'asse orario è deviato verso Ovest (altrimenti esiste il difetto opposto). Si punta in seguito una stella in direzione Est (oppure Ovest) alta circa 45° sull'orizzonte e la si insegue per qualche minuto: questa operazione verifica che sia correttamente predisposta l'inclinazione

dell'asse orario. In presenza di uno spostamento della stella osservata e se, per riallinearla, è necessario aumentare l'inclinazione sull'orizzonte dello strumento, significa che l'asse orario ha un'inclinazione superiore alla latitudine. Poiché si procederà per piccoli spostamenti e successive verifiche, non è neppure necessario memorizzare queste regole, poiché l'effetto di ogni singola correzione si renderà immediatamente evidente.

Se lo strumento verrà utilizzato per osservazioni visuali è sufficiente effettuare un puntamento al Polo molto grossolano, cosa che si fa in pochi minuti e consente un inseguimento privo di ritocchi di qualche minuto. Per effettuare pose fotografiche il puntamento deve essere molto più accurato, per consentire un inseguimento privo di ritocchi per un tempo superiore alla più lunga posa che si intende fare

CAMERE ELETTRONICHE

Dagli ultimi anni Novanta l'astronomia amatoriale è stata arricchita dalla diffusione delle camere fotografiche elettroniche, prima i CCD poi i CMOS. Si tratta di reticolati di minuscoli sensori, i cosiddetti pixel, di dimensioni da alcune decine ad alcune unità di micrometri. I pixel registrano la luce che li colpisce trasformandola in corrente elettrica, che poi viene letta e interpretata da un computer. Se questi sensori sono posti al fuoco di un telescopio, ne registrano l'immagine reale e il computer fornisce sul suo schermo l'immagine del soggetto

inquadrato dal telescopio. Questa immagine può essere memorizzata e successivamente elaborata con una varietà di programmi che permettono di estrarne preziose informazioni, come livelli di luminosità e dimensioni angolari dei corpi celesti inquadrati.

In tutti i campi, ma specialmente nell'osservazione planetaria, queste camere superano le capacità dell'occhio umano e quindi rendono quasi obsoleta l'osservazione visuale. Fanno eccezione coloro per i quali la contemplazione di quanto si vede all'oculare rappresenta un'occupazione spirituale e sentimentale importante.

Per le caratteristiche tecniche di questi dispositivi si rimanda alla letteratura specifica. Qui si dirà che per gli osservatori planetari sono da preferire camere con pixel piccoli, minori di 6 μm , mentre i cultori del profondo cielo troveranno convenienti camere con pixel di dimensioni maggiori,

I prezzi di questi preziosi dispositivi vanno da un centinaio a qualche migliaio di Euro, per cui bisogna studiarne accuratamente le caratteristiche prima di decidere l'acquisto. Un acquisto è comunque consigliabile, specie da coloro che hanno dimestichezza con i programmi di elaborazione delle immagini. Si otterranno risultati che rivaleggiano con le migliori fotografie fatte nel passato dai maggiori telescopi del mondo, che quindi verranno ad avere un significato scientifico di grande livello.

OSSERVAZIONI NEL SISTEMA SOLARE

GENERALITÀ SULLE OSSERVAZIONI

La contemplazione del cielo stellato a occhio nudo o attraverso un binocolo o un piccolo telescopio è sicuramente ripagante del tempo sottratto alle incombenze quotidiane. La sensazione di equilibrio e di serenità che si trae da queste esperienze le rende indimenticabili e desiderabili ed è per questo che l'astronomia attrae tanto e in maniera così generale. Si tratta in fondo di una necessità ancestrale di conoscere, di comprendere il rapporto esistente tra l'uomo e il cosmo.

Fra gli scopi di questo libro vi è quello di portare il lettore a un minimo di conoscenza dei fenomeni affinché egli si formi un'opinione corretta dell'Universo che ci circonda. Non si dovrebbe però mai dimenticare che l'astronomia è anche una scienza che vive dei dati sperimentali, dei risultati di osservazioni accurate dei fenomeni che si verificano nel cosmo. Perciò nessuna occasione dovrebbe andare perduta di fornire una documentazione dettagliata dei fenomeni osservati e delle condizioni in cui si è svolta l'osservazione. Il contributo di un'osservazione astronomica effettuata con rigore scientifico può essere determinante, in alcuni campi, per verificare la bontà di un modello o l'attendibilità di una teoria. Sarebbe buona norma perciò registrare accuratamente le condizioni di osservazione (data e ora in Tempo Universale, strumento usato e ingrandimenti, condizione del cielo) assieme alle caratteristiche del fenomeno che saranno riportate

sotto forma di disegno (o fotografia), stime quantitative (per es. magnitudine delle stelle variabili) o qualitative (colori).

È necessario poi che i risultati di ogni osservazione vengano portati a conoscenza della comunità scientifica o trasmettendoli a centri internazionali di raccolta (per esempio UAI o altri) o comunicandoli sotto forma di note scientifiche a riviste di diffusione internazionale.

PREPARAZIONE ALL'OSSERVAZIONE

Scelto l'oggetto (o gli oggetti) da osservare, si deve verificare preventivamente la possibilità reale di eseguire l'osservazione nei tempi progettati. Come esempio supponiamo di voler puntare un telescopio verso Rigel e verso Antares nella notte del 10 febbraio 2024 da Berlino (longitudine 13° 20' Est).

Eseguiamo il calcolo per due ore limite, quella della fine del crepuscolo, dedotta dalla *fig. 56*, e l'ora in cui abbiamo deciso di ricaricarci (per esempio le 24).

Alle ore 19 del 10 febbraio, fine del crepuscolo astronomico, il cielo è sufficientemente scuro da consentire l'osservazione. Il calcolo che eseguiremo per primo è tanto grossolano da poter essere fatto a mente e il più delle volte è tutto quello che serve. Le ore 19 di tempo solare del fuso di Berlino equivalgono, data la differenza di longitudine, alle ore 18 di Tempo Universale (TU = tempo del fuso di Greenwich). Ricordando l'andamento dell'ora siderale nell'arco dell'anno, essa

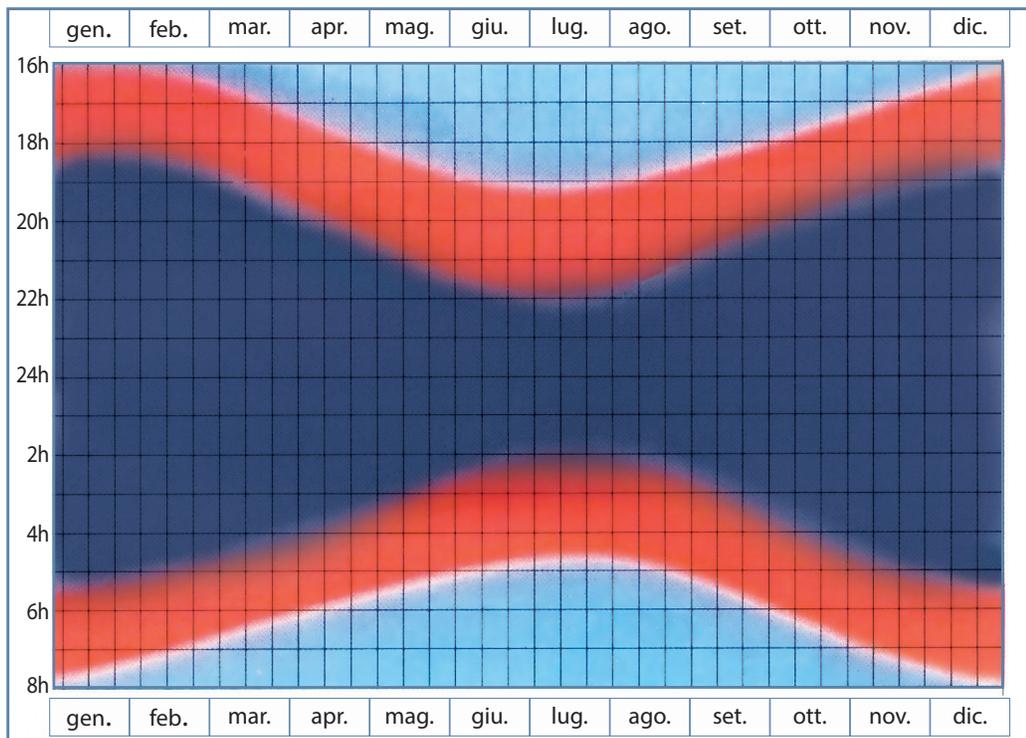


Fig. 56. Illuminazione del cielo nelle varie ore dell'anno. In rosso i crepuscoli, serale (in alto) e mattutino (in basso). Tra le due fasce rosse: cielo notturno. Sopra la fascia rossa superiore: cielo serale; sotto quella inferiore: cielo mattutino.

vale 0h a 0h di TU il 21 settembre: pertanto varrà 12h sei mesi dopo, il 21 marzo. La data che ci interessa è circa un mese e mezzo anteriore: in questo intervallo il Tempo Siderale (TS) varia di 3h. L'ora siderale di Greenwich alle ore 24 del 10 febbraio è perciò stimata 9h circa (in realtà è 9h 21min 0s). All'ora che ci interessa, le 18h TU, avremo quindi TS = 3h circa.

Berlino dista da Greenwich 13°20' (longitudine Est) per cui sul suo meridiano vi saranno stelle di circa 1h di AR maggiore di quelle che contemporaneamente sono su Greenwich, ovvero il TS sarà 4h circa.

Si conclude che Rigel sarà visibile (AR = 5h

13min 46,1s; $D = -8^{\circ}13'10''$), trovandosi al momento dell'inizio osservazione 1 ora prima del meridiano (15° circa). Antares invece (AR = 16h 28min 25,4s; $D = -26^{\circ}23'51''$) si trova a 12h dal meridiano, quindi sotto l'orizzonte. Solo dopo 12 ore, alle 7 del mattino cioè, Antares passerebbe nei pressi del meridiano, ma a quell'ora (fig. 56) l'alba è già passata da 1,5 ore. È possibile che prima dell'alba Antares sia visibile, bassissima sull'orizzonte e lontana dal meridiano. Per controllo si veda il calcolo dell'altezza di un astro sull'orizzonte a pag. 42.

Almeno un'ora prima del momento programmato è bene esporre all'aperto lo stru-

mento, rivolgendolo verso il vento se riflette. Mezz'ora dopo dovrebbe iniziare, specie se si intendono osservare oggetti deboli, un periodo di adattamento all'oscurità che può variare da una persona all'altra ma che non dovrebbe mai essere inferiore al quarto d'ora (fig. 57). Muniti di carta, matita, gomma e un buon orologio si può finalmente iniziare.

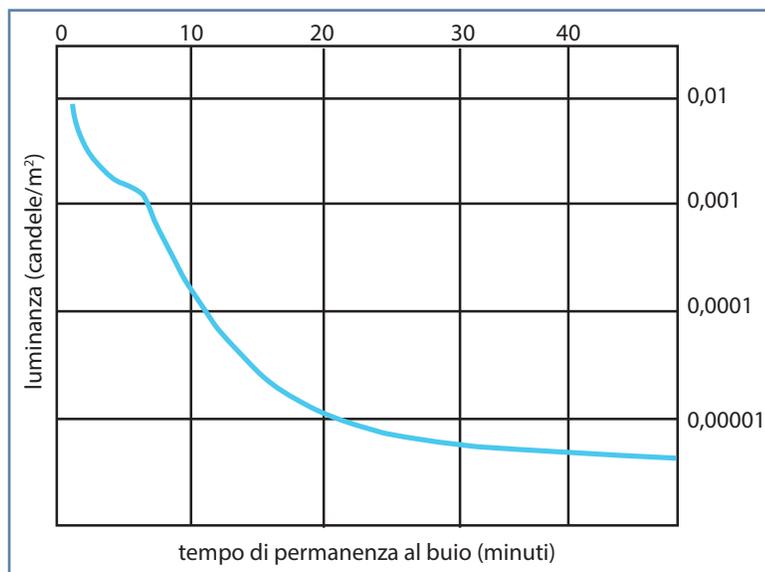


Fig. 57. Sensibilità dell'occhio umano alla luminanza (in ordinate) in funzione del tempo di permanenza al buio (in ascisse).

Se l'oggetto è visibile a occhio nudo non si presentano problemi per il puntamento del telescopio, mentre se si intende guardarne uno al di sotto del limite visivo si adotta uno dei due metodi seguenti.

Osservare attraverso il «cercatore» del telescopio, un piccolo cannocchiale a grande campo con un reticolo a croce nell'oculare, la zona di cielo interessata. Se l'oggetto si rende visibile nel campo del cercatore lo si porta al centro del reticolo oculare. Se cer-

catore e telescopio sono allineati (centrarli, una volta per tutte, sulla Luna) l'oggetto dovrebbe rendersi visibile nel campo dell'oculare del telescopio.

Qualora queste operazioni non fossero fruttuose e si fosse in possesso di uno strumento dotato di cerchi graduati elettronici si utilizza la procedura suggerita nel manuale dello strumento per puntarlo sulle coordinate dell'astro da osservare. È bene usare inizialmente il minimo ingrandimento ($D/6$) per disporre di un grande campo e della massima luminosità: centrato l'oggetto si potranno cambiare gli oculari alla ricerca del più adatto.

Durante l'osservazione è necessario (e difficile, le prime volte) fissare l'attenzione su ogni singolo particolare e non tentare di farsene un'idea di insieme. In condizioni normali l'occhio umano si muove rapidamente e in continuazione per fornire una visione dettagliata di un grande campo. Nell'osservazione astronomica questo è dannosissimo, trattandosi sempre di distinguere piccoli oggetti, spesso poco contrastati rispetto al fondo su cui si stagliano. Solo il paesaggio lunare fa eccezione a questa regola: non per nulla questa visione è la più impressionante e soddisfacente nel caso di osservatori inesperti.

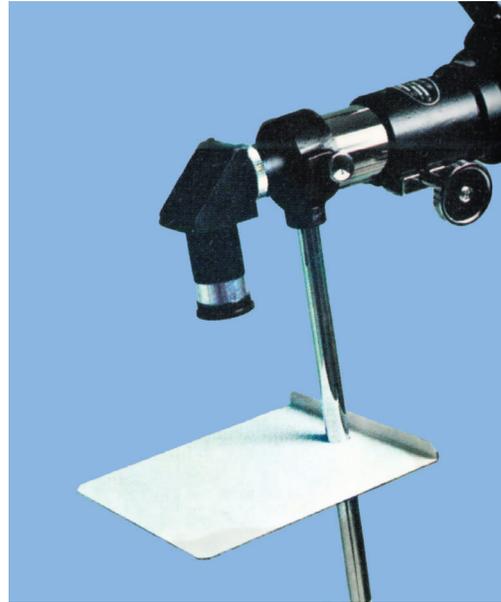
Se si registra l'osservazione sotto forma di disegno questo deve essere fatto con cura (meglio si desidera disegnare più accurata è la visione) iniziando dalla parte che si renderà invisibile per prima (zona che tramonta o che viene occultata) e dai particolari più cospicui. Questi serviranno da punti di riferimento per il riporto dei particolari più minuti che ver-

ranno registrati solo dopo averli scorti distintamente più volte: ci troviamo al fondo di un oceano ribollente (l'atmosfera) che deforma continuamente le immagini, fa scintillare le stelle e le trasforma in piccoli spettri a mano a mano che si approssimano all'orizzonte. Il grado di turbolenza dell'atmosfera (erroneamente ma generalmente definito *seeing*) va registrato accanto ai dati osservativi o qualitativamente o sotto forma di stima numerica (0 = immagini perfette; 5 = immagini pessime, pressoché inutilizzabili).

OSSERVAZIONI DEL SOLE

Qualunque sia la tecnica di osservazione utilizzata non deve mai essere direttamente coinvolto l'occhio: già un semplice sguardo a occhio nudo è suscettibile di far cadere sulla retina l'energia sufficiente a provocare una bruciatura irreversibile. Se la luce raccolta da uno strumento, anche un semplice binocolo, dovesse essere convogliata nell'occhio anche per un istante ne conseguirebbero danni gravissimi e permanenti. Diffidare quindi dei filtri solari da avvitare all'oculare: questi vengono a trovarsi così vicino all'immagine reale del Sole, al fuoco dello strumento, da rischiare la rottura per surriscaldamento.

È bene impiegare un filtro alluminato (in mylar o in vetro) da anteporre all'obiettivo, ma per la maggior parte delle osservazioni è sufficiente proiettare l'immagine del Sole su un foglio di carta (*foto in questa pagina*). Il puntamento si fa, usando un basso ingrandimento, spostando il telescopio finché la sua ombra è circolare. Quindi si mette a fuoco l'immagine brillante del disco solare, che si riconosce spo-

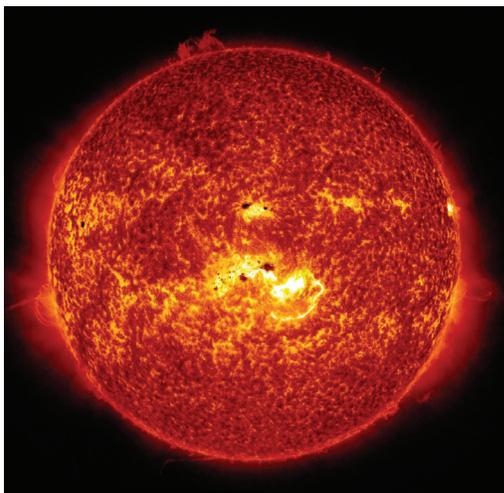


Dispositivo dove appoggiare un foglio di carta per disegnarvi i particolari del Sole in proiezione oculare.

stando lo strumento, agendo sull'oculare fino a ottenere un bordo solare nitido. A questo punto devono risultare osservabili (se ci sono: a volte il disco può essere privo di particolari) le macchie solari e le facole, i filamenti ed eventualmente i brillamenti (*vedi le due foto a pag. 70 in alto*).

Le macchie solari sono regioni della fotosfera interessate dalla presenza di forti campi magnetici, rivelabili con metodi spettroscopici (effetto Zeeman), e dove la temperatura è di 1000°-1500°C più bassa della media fotosferica (6000°C). Sono formate solitamente da un nucleo scuro (ombra) circondato da un alone più chiaro (penombra) e sono soggette a evoluzione rapida (*fig. 58*, dove è riportata la nomenclatura ufficiale). Piccole macchie prive di penombra vengono chiamate pori.

Qui a lato. Le macchie solari (sunspots), come quelle visibili al centro di questa immagine, forniscono informazioni sull'attività del Sole. Crediti: NASA/SDO



A destra, la regione di attività solare AR 1654. (NASA / SDO / HMI)

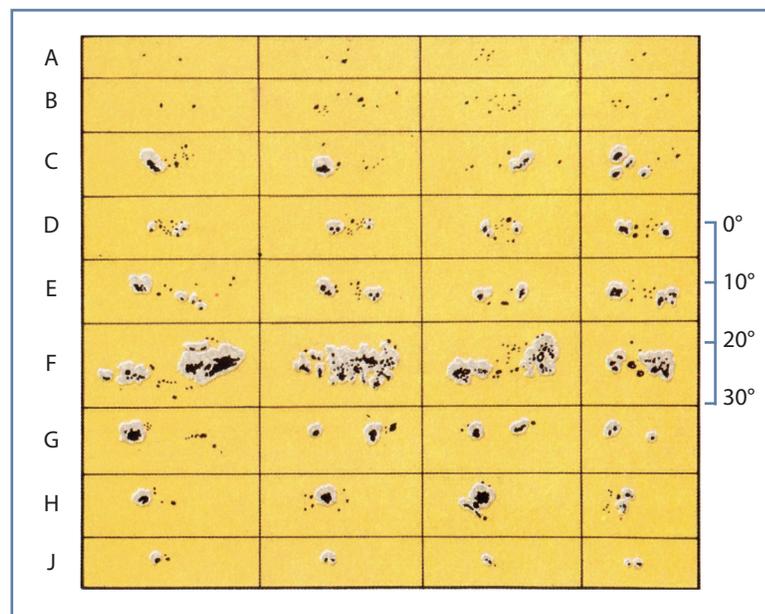
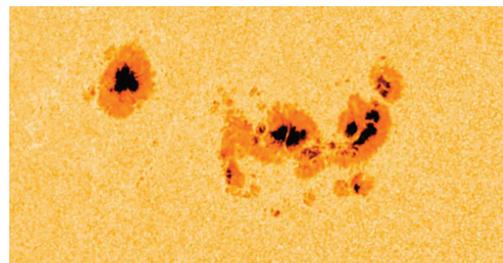


Fig. 58. Classificazione mono letterale dei vari tipi di macchie solari.

Le facole sono regioni della fotosfera collegate a deboli campi magnetici (1/10 di quelli maculari) e una temperatura di 300-900°C più alta della media. Le macchie solari hanno

sempre regioni facolari associate mentre non è sempre vero il contrario.

Le protuberanze sono formate da materiale della corona soggetto a una sorta di condensazione sotto l'influenza di campi magnetici. Quando si rendono visibili sopra la fotosfera, appaiono come filamenti scuri serpeggianti. L'osservazione delle protuberanze sul bordo del disco solare è possibile solo mediante l'impiego di filtri interferenziali (filtro H-alfa) o durante la totalità di un'eclisse.

I *brillamenti (flare)* interessano la fotosfera, la cromosfera e la corona come riscaldamenti localizzati e temporanei fino a 10 000°C. Già un binocolo, usato come indicato, è in grado di mostrare le macchie principali e i gruppi cospicui, ma è necessario uno strumento che fornisca almeno 30 ingrandimenti per cogliere con sicurezza l'aspetto della fotosfera.

Solamente disponendo di un potere separatore migliore di 1" (D maggiore di 120 mm) è possibile osservare la granulazione, una struttura fine della fotosfera che è legata alle celle di circolazione gassosa che portano calore verso l'esterno.

Impiegando strumenti appositamente progettati (coronografo o spettroeliografo) è possibile studiare la corona: la costruzione di tali strumenti si trova in opere dell'Appendice.

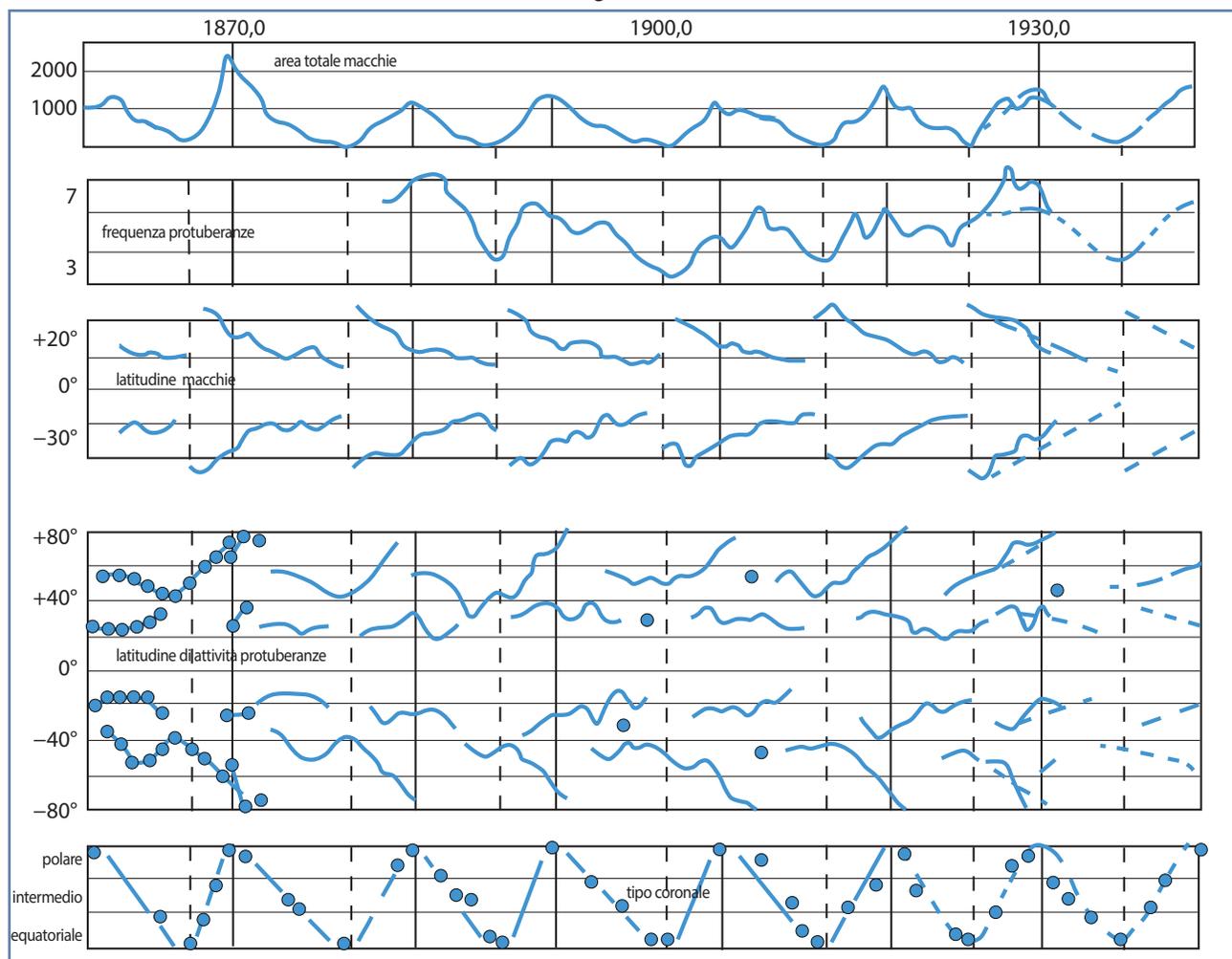
OSSERVAZIONI DELLA FOTOSFERA

Si può sorvegliare l'attività fotosferica, soggetta a una periodicità undecennale, con disegni accurati o fotografie. È essenziale che siano riportate la posizione, l'estensione e la forma delle macchie solari (ombra e penombra, vedi classificazione in *fig. 58*) e di particolari come facole e brillamenti.

Come risulta dalla *fig. 59*, il numero delle macchie, la loro disposizione in latitudine, il numero delle facole e altri parametri variano ciclicamente con un periodo di, 11 anni circa. Molto usato per esprimere l'attività solare è il "Numero di Wolf" (R) definito come:

$$R = (10g + n)$$

Fig. 59. Variazione nel tempo di vari fenomeni solari: è evidente l'andamento ciclico di periodo 11 anni circa, che li caratterizza tutti.



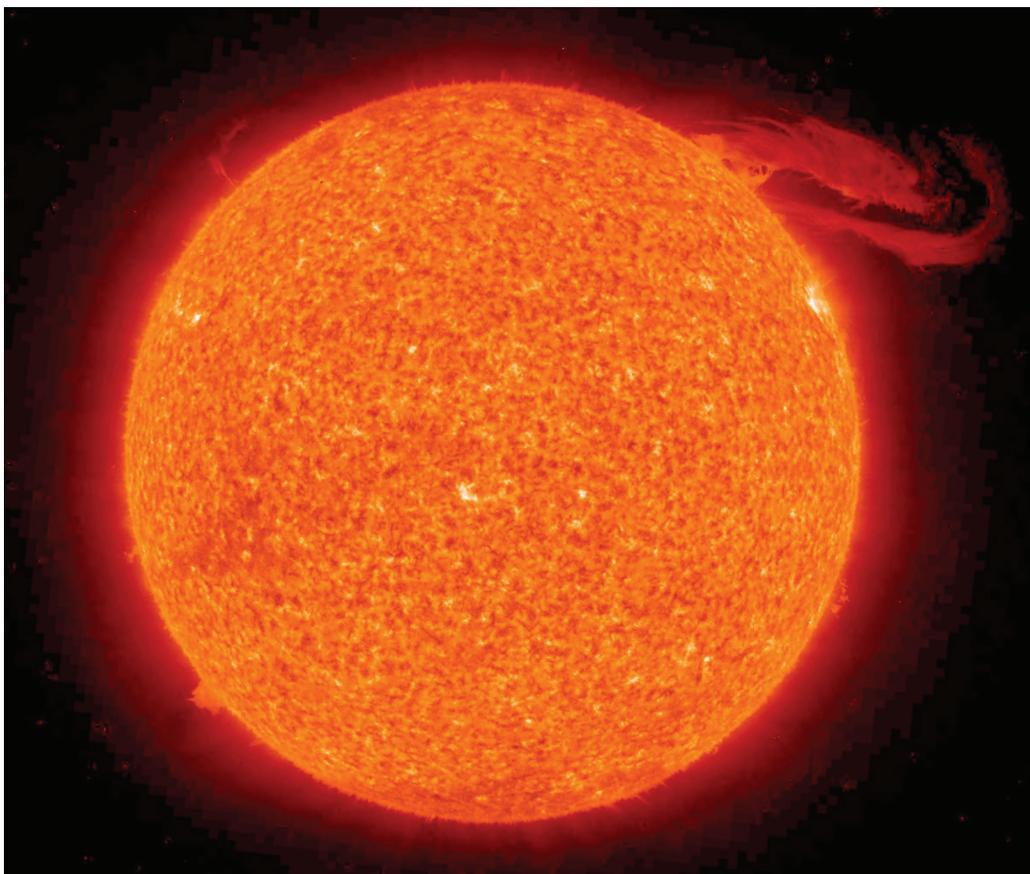
dove g è il numero dei gruppi di macchie (una macchia singola è un gruppo) e n è il numero complessivo delle macchie. Supponiamo di osservare 3 gruppi per un totale di 14 macchie: allora $R = 10 \cdot 3 + 14 = 44$. Se si osserva una sola macchia: $R = 10 \cdot 1 + 1 = 11$.

I disegni vanno orientati tracciandovi la direzione Est-Ovest identificata dal moto di un particolare a telescopio fermo. A partire da questa direzione e con l'uso della tabella riportata a pagg. 16-27 dell'Almanacco UAI

che riporta l'angolo di posizione del punto Nord solare rispetto al Nord del disegno (perpendicolare alla linea E-O) contato verso E, si individua l'asse di rotazione del Sole e si studia tale moto. Trattandosi di una sfera gassosa, il moto avviene più velocemente all'equatore, dove un particolare impiega circa 25 giorni a fare un giro (in senso antiorario, visto dal Nord terrestre), che ai poli, dove una rotazione può durare 29-30 giorni.

La fotografia del disco solare, facilmen-

Una protuberanza solare ripresa dal satellite STEREO (Solar TERrestrial RELations Observatory il 29 settembre 2008. (NASA)



te fattibile grazie all'enorme quantità di luce disponibile, segue le linee della fotografia planetaria. È necessario uno strumento munito di un filtro alluminato davanti all'obiettivo (o un prisma di Herschel al fuoco) e di un oculare focalizzato perfettamente al quale accoppiare (o avvicinare) la camera fotografica completa di obiettivo focalizzato all'infinito. In alternativa si può usare una Barlow nella quale si inserisce la camera digitale se si vuole ingrandire il soggetto, oppure la camera prende il posto di un oculare.

L'uso di filtri interferenziali posti in vicinanza della camera permette di registrare il Sole in luce dell'idrogeno (H-alfa) o del calcio (Ca H). Il primo consente di vedere le protuberanze anche sul bordo del disco solare, mentre il secondo rende più evidenti le macchie e le facole (*vedi foto a pag. 70*).

Affinché il disco solare sia interamente contenuto nel campo del dispositivo di ripresa si tenga presente che le sue dimensioni al fuoco (S) sono funzione della dimensione focale originale (s) e dell'ingrandimento operato dal sistema oculare-obiettivo fotografico, secondo la formula:

$$S = s \cdot \frac{\text{focale obiettivo fotografico}}{\text{focale oculare}}$$

Le dimensioni di un oggetto al fuoco di un obiettivo (per es. s, in millimetri) è dato, a partire dalle dimensioni reali (nel caso del Sole 30', ovvero 1800"), dalla formula:

$$s \text{ (mm)} = 1800'' \cdot \frac{\text{focale obiettivo}}{206\,265}$$

SEZIONI SOLE

- Unione Astrofili Italiani.
- British Astronomical Association.
- Association of Lunar and Planetary Observers.
- Association of Lunar and Planetary Observers Japan.

OSSERVAZIONI DELLA LUNA

Dopo le brillanti imprese spaziali degli Anni Settanta la morfologia, la geologia e la geo-chimica della Luna sono conosciute così in dettaglio che le osservazioni telescopiche non hanno più significato scientifico. Tuttavia nessun altro corpo celeste è accessibile fin nei minimi dettagli anche usando strumenti modesti, come accade per la Luna: la visione di un altro mondo è piena e suggestiva mentre, guardando attraverso il piccolo pertugio dell'oculare, sembra di essere in volo sopra pianure e catene montuose, crateri e vallate imponenti, fratture profondissime nelle quali potrebbero essere ingoiati interi quartieri delle nostre città. L'osservazione della superficie lunare è altamente educativa dal punto di vista geologico, proponendo, non alterate da opera umana o dalla vegetazione o da pioggia e vento, strutture che sulla superficie terrestre possiamo solamente immaginare, dedurre per via indiretta.

Già un semplice binocolo fa balzare all'attenzione la differenza sostanziale esistente tra i mari, vaste distese praticamente lisce, e le terre che contrastano per il colore nettamente più chiaro e per la ricchezza di crateri

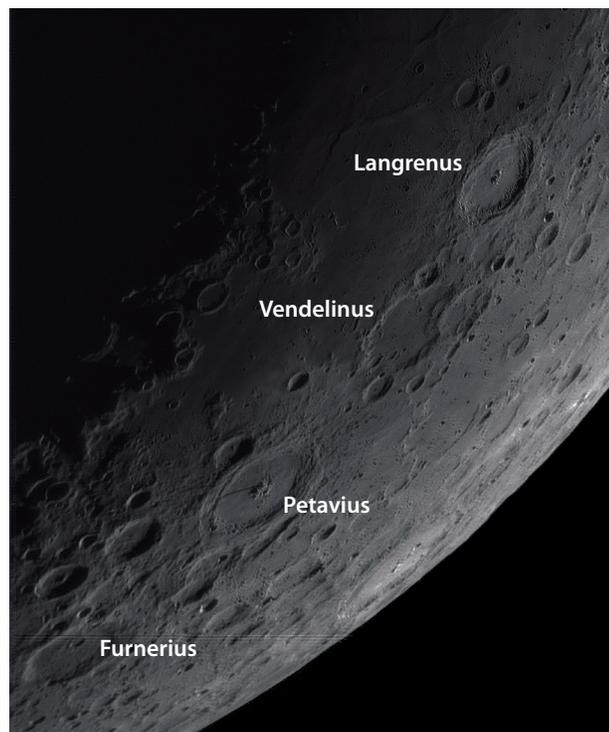
di ogni dimensione. Un rifrattore da 60 mm propone tanti di quei particolari che l'occhio è costretto a sostare qua e là, colpito dalla cruda bellezza di un particolare o dalla stranezza di una forma.

Con l'aiuto della mappa lunare (pagg. 128-135) e della sua legenda si è in grado di riconoscere le principali formazioni: le descrizioni seguenti sono una semplice guida.

Puntando lo strumento verso la cuspide Sud della falce di 2-3 giorni una serie di punti bianchissimi appare sospesa nel cielo: sono i monti Leibnitz, alcuni alti più dell'Everest, una catena che guida verso la zona illuminata e sotto la quale, grazie alla luce cinerea (luce solare riflessa sulla Luna da parte della Terra) si intravede il suolo non ancora sfiorato dalla luce diretta.

Scendendo lungo la zona illuminata che va allargandosi, si osserva una regione relativamente pianeggiante nei pressi del bordo (Mare Australe), mentre al terminatore (confine tra luce e oscurità) il suolo è completamente coperto di crateri, grandi e piccoli, alcuni così profondi da apparire come un semplice anello lucente sospeso nel buio.

A circa 40° di latitudine Sud si trova Furnerius (130 km) il primo di quattro grandi crateri che si inseguono verso l'equatore: gli altri sono Petavius (160 km), con un complesso picco centrale e una frattura sul fondo Ovest; Vendelinus (135 km), le cui pareti sono stravolte da tre crateri più giovani; Langrenus (130 km), un bellissimo cratere dalle pareti terrazzate e con una montagna centrale molto complessa. Gli ultimi due



Sopra, i quattro grandi crateri Furnerius, Petavius, Vendelinus e Langrenus affacciati sul Mare Fecunditatis ripresi da Giorgio Mengoli. SC 11", CMOS ASI 178 mm, lente di Barlow 2X

sono sulle rive del Mare della Fecondità. Proseguendo verso il basso, superata una zona di colline allungate, i Mari delle Onde e della Spuma, si giunge alle scoscese pareti del Mare delle Crisi, un anfiteatro di cui si riesce a scorgere solamente una parte della platea. A ridosso del bordo settentrionale del Mare (nel telescopio l'immagine è normalmente capovolta, il Nord è in basso) vi è Cleomedes (126 km) seguito da un'altra



Vicini al terminatore di questa Luna Gibbosa Crescente risaltano tre crateri di diametro attorno ai 100 km: Regiomontanus, prossimo al Polo Sud, Copernicus, prossimo all'equatore, e Goldschmidt prossimo al Polo Nord. Foto di Giorgio Mengoli.

Il cratere Fracastorius ripreso il 6 maggio 2003 da Giorgio Mengoli con un telescopio Schmidt Cassegrain C11-XLT (279 mm f/10), risoluzione 0,17 km/pixel con lente di Barlow 2X e filtro IR-cut Baader. Camera CCD Imaging Source DMK-31AF03 1024x768 b/w, 15-30fps/900 frames con software IC-Capture v2.0. Elaborazione con i software IRIS v5, Registax v4, AstroArt v3, Paint Shop Pro v8.

Una ripresa del Mare Nectaris con la famosa triade formata dai crateri Theophilus, Cyrillus e Catharina. Giorgio Mengoli ha realizzato questa ripresa il 9 marzo 2022 con turbolenza deludente. Schmidt Cassegrain 11 pollici, camera CMOS ASI 178 mm (monocromatica), 750/3000 frames.

regione densamente craterizzata. Questa si estende fino a 60° di latitudine Nord dove il Mare di Humboldt interrompe il paesaggio che però riprende poco dopo per dissolversi nella cuspide Nord.

All'età di 4-5 giorni la Luna rivela una moltitudine di particolari: a -45° si trova Janssen, un enorme e complesso cratere con un grande crepaccio sul fondo (che si biforca verso l'alto), e con le pareti sconvolte da crateri minori. Poco lontano una vallata lunga almeno 300 km conduce al cratere Rheita (60 km). Procedendo verso Nord si incontra una lingua di terreno craterizzato che separa il Mare della Fecondità da quello del Nettare. Sulla costa Sud di quest'ultimo Fracastorius sembra un enorme ferro di cavallo: le pareti verso il Mare sono state distrutte dalla lava ancora fluida. Sulla riva destra tre grandi crateri, Teophilus (103), Cyrillus (80) e Chararina (106) formano un insieme che anticipa la "coda del pavone". Da Theophilus si diparte, verso Sud, la catena dei Monti Altai. Il Mare del Nettare sfocia in quello della Tranquillità, una pianura corrugata da forze potenti, simili a quelle che muovono i continenti terrestri: è in un punto di questo Mare che il primo piede umano è stato posato il 20 luglio del 1969. A +20° il Mare della Tranquillità si congiunge a quello della Sereinità: le pareti di questo Mare sono state fortemente erose come dimostra lo stato di Le Monnier (51), letteralmente dimezzato, e di Posidonius (100), un cratere nel cratere con evidenti tracce di erosione. Posidonius è sulla costa del Lago dei Sogni accanto al quale, separato da una sottile lingua di terreno cra-



terizzato, si trova il Lago della Morte. Alla sua sinistra due crateri quasi della stessa grandezza, Atlas (85) e Hercules (74), hanno fama di essere sede di strani brillamenti. Oltrepassato il Mare del Freddo, in vicinanza della cuspide Nord, si trova il grande circo Meton (170) e infine la catena dei Monti della Luce Eterna, sempre illuminati dal Sole. Attorno al Primo Quarto la natura del suolo lunare si rivela meglio che in tutte le altre fasi: le ombre si mostrano alla loro massima estensione, non accorciate dalla prospettiva, mentre il paesaggio è così vario da non stancare mai. La regione attorno al Polo Sud



Regione Nord-Est:
Mare Humboldtianum
al bordo seguito, verso
Sud, dai crateri Endy-
mion, Atlas e Hercules
e in basso, verso destra,
il cratere Posidonius.
Rifrattore apocromatico
Skywatcher 150-ED
con focale nativa
F=1200 mm, lente di
Barlow 1,5x, CMOS
ASI 178 mm (mono-
cromatica), 500/2000
frames con i software
Autostakkert, Registax,
PhotoShop. Foto di
Giorgio Mengoli.

mantiene la sua caratteristica di fitta cratizzazione. Attorno a -45° spicca un gruppo di tre formazioni molto complesse: Licetus, probabilmente formato da tre crateri, è una struttura molto allungata sul fondo della quale corre un terrapieno quasi “ferroviario”; Maurolycus è nettamente doppio ma, stranamente, il cratere più giovane, quello sopra, è più grande di quello sottostante parzialmente obliterato; Stöefler (145), dal fondo liscio e scuro, ha pareti completamente ricoperte e deformate da crateri minori. Pensando che



Stöfner, e l'adiacente
Maurolycus sono
esempi di crateri
sovrapposti tipici di
una regione saturata di
crateri. Foto di Giorgio
Mengoli realizzata il 18
marzo 2003.

La Luna di circa 3 giorni in una ripresa realizzata da Giorgio Mengoli il 13 marzo 2024 con una Nikon P1000 (C).

La Luna al PrimoQuarto ripresa da Giorgio Mengoli con rifrattore ED80 mm feq. 600 mm, ccd DMK (30fps), filtro IRcut 200 frames. Elaborazioni IRIS, AstroArt3/ falsi colori mosaico di due immagini.

ogni cratere rappresenta il luogo di caduta di un corpo di diametro 10-20 volte minore, si può immaginare a quale violento bombardamento sia stata sottoposta la superficie del nostro satellite. In realtà questo è avvenuto per tutti i corpi del Sistema Solare che si sono accresciuti catturando tanti piccoli corpi (planetesimi). Poco a Sud dell'equatore un'altra terna di crateri, molto tormentati però, rivaleggia in bellezza con la "coda del pavone": Parrot (66), Albatengnius (116) e Hipparcus (150). Poi, all'improvviso, le montagne finiscono rivelando due piccole pianure: il Golfo di Mezzo e il Mare dei Vapori. Sul fondo del Golfo spicca un piccolo cratere, Triesnecker, circondato da una fitta rete di fratture probabilmente generate dall'azione mareale che la Terra esercita sulla Luna deformandola a "uovo". Tra il Golfo e il vicino Mare vi è un piccolo cratere, Hyginus, associato a una spaccatura che lo attraversa con una brusca curva: queste formazioni sono state collegate ad attività vulcanica. Forse si tratta di inghiottitoi, profonde fratture nelle quali è franato il materiale incoerente (regolite) della superficie. Verso sinistra un'altra spaccatura di origine tettonica, il solco di Ariadaeus, sfocia nel Mare della Tranquillità.

Dal Mare dei Vapori inizia una zona di colline che divengono sempre più alte fino a svettare a 4000-5000 metri, formando una catena montuosa arcuata che si affaccia su una pianura quasi completamente immersa nella notte. La catena degli Appennini è solo parzialmente visibile in questa fase: verso Nord la catena termina su un pianeggiante stretto che



collega il Mare della Serenità a quello delle Piogge, ancora immerso nel buio. Ideale prosecuzione degli Appennini, al di là dello stretto, è la catena dei Monti Caucaso e, a destra di questi, le Alpi. Tra i due si trova il cratere Cassini (58), con un cospicuo cratere sul fondo, mentre le Alpi sono divise da una profonda valle omonima, lunga circa 300 km. A sinistra si osservano due profondi crateri: Eudoxus (72) e Aristoteles (90): i nomi delle caratteristiche lunari, secondo la tradizione iniziata da Riccioli (1651), derivano da personalità che hanno, in qualche modo, avuto un ruolo nell'Astronomia. Uno o due giorni dopo il Primo Quarto si possono ammirare finalmente le cose più spettacolari. Terminata verso -30° la tormentata regione Sud, si incontra il Mare delle Nubi e subito si nota un segmento scuro, lungo circa 100 km: il Muro Dritto è il risultato di una faglia che ha dislocato il terreno a Est fino a 200-250



La famosa Triade formata dai crateri Arzachel, Alphonsus e Ptolemaeus. La ripresa è stata realizzata da Giorgio Mengoli con un telescopio Schmidt-Cassegrain 11 pollici, CMOS ASI 174 mm (monocromatica), lente di Barlow 1,5X, senza uso di filtri.

metri sotto la pianura a Ovest. A Est è visibile finalmente la Coda del Pavone: i tre crateri Arzachel (100), Alphonsus (120) e Ptolemaeus (165), immersi in un terreno striato in direzione quasi Nord-Sud costituiscono uno spettacolo affascinante che fu paragonato da Galilei alla coda multicolore di un pavone. A Nord dell'equatore gli Appennini rivelano tutta la loro estensione e terminano a Sud a ridosso di Eratosthenes (60). Nel Mare delle Piogge spiccano Archimedes (80), Autolycus (38) e Aristillus (56) mentre due picchi isolati, Piton e Pico (alti circa 3000 metri), conducono al cratere Plato: il fondo di questo cratere sembra presentare fenomeni temporanei (esalazione di vapori?).

Nelle fasi successive, fino quasi alla Luna Piena, prevale un paesaggio pianeggiante, l'Oceano delle Tempeste, oltre al quale spiccano, di giorno in giorno, alcune caratteristiche degne di nota. Clavius (230) e Tycho

La Rupes Recta (Muro dritto) tra i crateri Birt (16 km di diametro) e Thebit (55 km). La Rupes Recta è una scarpata lunga circa 110 km con una profondità che in alcuni punti raggiunge i 300 metri. Questa formazione è visibile nei giorni vicini alla fase del Primo Quarto. La ripresa è stata realizzata da Giorgio Mengoli con un telescopio Schmidt-Cassegrain 11 pollici, CMOS ASI 174 mm (monocromatica), lente di Barlow 1,5X.

Fra crateri in ombra e grandi mari, la catena degli Appennini catturata da Giorgio Mengoli il 10 marzo 2022 con seeing 5/10. Schmidt-Cassegrain 11, CMOS ASI 178 mm.



Qui sopra, i crateri Aristoteles ed Eudoxus in una bellissima ripresa di Giorgio Mengoli. SC 11", CMOS ASI 174 mm, Barlow 2X, filtro IR-Cut, elaborazione Autostakkert, Registax, PhotoShop.

(87) nelle Terre a Sud; il Mare degli Umori con Gassendi (88) poco a Sud dell'equatore; Copernico e i Monti Carpazi a Nord dell'equatore; il Golfo delle Iridi (una formazione simile a Fracastorius), il cui arco è formato dai Monti Giura, a $+45^\circ$. Qualche giorno prima della Luna Piena, a $+25^\circ$, è visibile la coppia Aristarchus (46) e Herodotus (39), il primo dal fondo candido, quasi brillan-

te, il secondo da cui si diparte la Valle di Schröter, una sinuosa frattura che si estende per un centinaio di chilometri, piegandosi più volte e assottigliandosi sempre più. Ci si rende conto in queste fasi di quale strano spettacolo costituisca la Luna Piena: luminosissima, tanto da disturbare lo sguardo anche usando strumenti modesti, essa offre tuttavia pochi motivi di interesse. Il paesaggio appare piatto, senza ombre, le caratteristiche viste nei giorni precedenti sono quasi irriconoscibili. Risaltano le grandi strutture raggiate, come quelle che si diramano da Tycho, e alcune macchie particolarmente scure al fondo di alcuni Mari. Ma nel suo insieme il paesaggio fa sperare che, con il passare dei giorni, ritornino visibili le ombre e le strutture già viste e che, sotto le nuove condizioni di illuminazione, si rivelino nuovi aspetti e particolari. Purtroppo l'osservazione sarà sempre più difficile, essendo possibile solo nella seconda metà della notte o addirittura poco prima dell'alba.

La fotografia lunare è facilmente fattibile, specie con le moderne camere elettroniche. Se non ci accontentiamo di foto a largo campo, ma vogliamo cogliere i dettagli delle varie formazioni, è necessario ingrandire l'immagine focale con un oculare o una lente di Barlow.

Altre osservazioni che si possono compiere sulla Luna riguardano i Fenomeni Lunari Temporanei (LTP: in inglese Lunar Transient Phenomena): apparizioni di macchie brillanti o scure, di vario colore, che si possono verificare in zone ad alta luminosità (Aristarco, Keplero, Gassendi).

Tenendo sotto stretta sorveglianza la super-

ficie lunare non illuminata da Sole si possono cogliere i flash originati dall'impatto col suolo di meteore che sono frequenti durante gli sciami di stelle cadenti che osserviamo sulla Terra.

Infine, di interesse scientifico in quanto consente di determinare con precisione i moti della Luna, è la cronometria delle occultazioni di stelle da parte della Luna. È necessario disporre delle effemeridi relative alla scomparsa (D, dall'inglese *Disappearance*) o alla emersione (R, dall'inglese *Reappearance*) delle stelle dal bordo lunare per porsi all'osservazione al momento opportuno e dirigere l'attenzione verso la zona interessata. Questi dati sono contenuti nel più volte citato Almanacco dell'UAI. Il tempo deve essere scandito da un orologio al quarzo sincronizzato con il più vicino segnale orario. L'istante di D o R deve essere determinato con la precisione di 0,1-0,2 secondi altrimenti il dato non rivestirebbe alcun interesse.

SEZIONI LUNARI

- Unione Astrofili Italiani
- British Astronomical Association
- Association of Lunar and Planetary Observers.

OSSERVAZIONE DI PIANETI

MERCURIO. I dati raccolti dalle sonde hanno annullato il significato delle osservazioni da terra, sempre piuttosto difficili data la vicinanza di questo pianeta al Sole e all'elevata turbolenza atmosferica provocata dal calore solare. E sicuramente un buon risultato riuscire a dare uno sguardo a questo piccolo pianeta il cui diametro apparente oscilla tra 6" e 9": richiede però strumenti di diametro superiore ai 150 mm. L'uso di filtri gialli o rossi aumenta il contrasto con il fondo del cielo sempre luminoso.

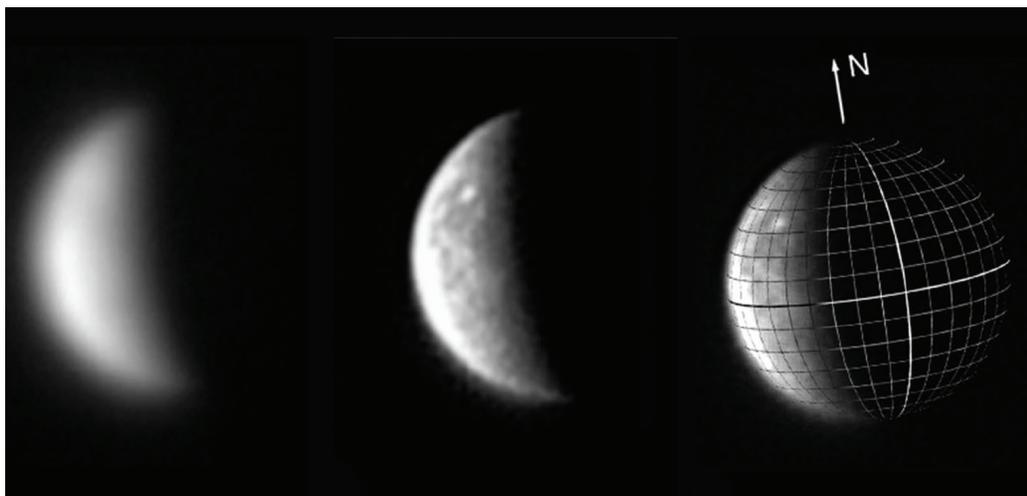


Immagine ad alta risoluzione di Mercurio nella banda infrarossa ripresa dal telescopio da 150 cm dell'Osservatorio di Monte Wilson.

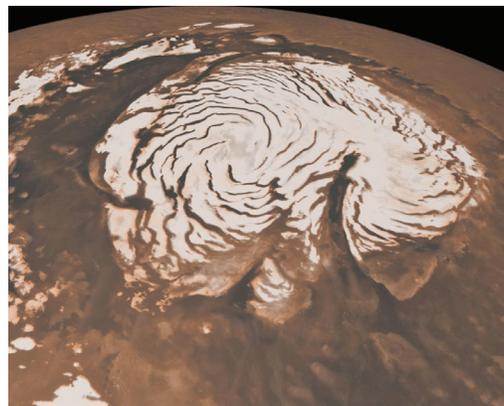


In questa foto Venere brilla accanto alla Luna in una ripresa realizzata dall'European Southern Observatory in Cile. (ESO/Y / Beletsky)

La calotta polare nord di Marte ripresa dal Mars Global Surveyor Orbiter. (NASA/JPL-Caltech/MSSS).

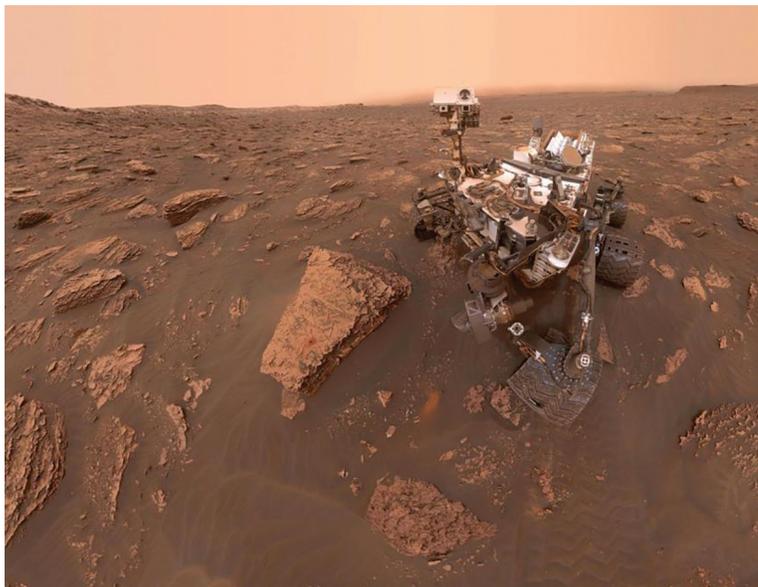
VENERE. È un pianeta brillantissimo e abbastanza facile da osservare dato che il diametro apparente oscilla tra 10" e 66" ed è facilmente identificabile anche in pieno giorno (conoscendo le coordinate). Si possono usare ingrandimenti elevati (fino a 4D) per osservare le irregolarità dello strato nuvoloso che lo ricopre in permanenza. Continua a destare interesse l'“effetto Schröter”, cioè la non coincidenza tra la Dicotomia (“quarto” di Venere) calcolata e quella osservata: l'effetto, che ammonta a qualche giorno, varia a seconda dei filtri usati ed è probabilmente legato alla diffusione atmosferica della luce solare. Nelle foto in luce ultravioletta o blu si possono seguire le strutture e la rotazione dell'atmosfera che, diversamente dal globo, avviene in 4-5 giorni. In luce infrarossa si possono cogliere alcuni particolari della superficie, cosa anche questa di un certo interesse.

MARTE. Anche in questo caso le classiche osservazioni fatte da terra sono state decisamente ridimensionate dalle missioni spaziali delle sonde in orbita e dai rover sulla superficie. Il fatto però che tutte le Sezioni Marte esistenti abbiano continuato i loro lavori significa chiaramente che vi è ancora scopo in questo tipo di studio, soprattutto per sorvegliare la meteorologia (nubi di vario tipo) e l'evoluzione delle calotte polari stagionali. Un binocolo mostrerà nettamente il colore rosso, già percettibile visualmente, ma sarà necessario almeno un 60 mm per scorgere il disco di diametro apparente oscillante tra 10" e 25" nelle migliori condizioni. Osservatori particolarmente abili scorgeranno, se il momento è opportuno, una calotta polare, ma è necessario almeno un 150 mm per compiere un lavoro sistematico o comunque distinguere i particolari riportati sulle mappe. Si devono usare ingrandimenti molto elevati (anche 2D) e filtri per accentuare il contrasto (rossi per i particolari bluastrì e blu per intensificare quelli rossastrì).



Essendo un pianeta esterno, Marte sarà osservabile al meglio vicino alle opposizioni che si ripetono ogni 780 giorni in media (due anni e due mesi circa). Le più favorevoli sono quelle perieliche che si verificano attorno ad agosto (il pianeta è però basso sull'orizzonte) ma sono meno frequenti di quelle peggiori, afeliche (febbraio), nel rapporto 2:3. Il periodo di osservabilità si aggira attorno a tre mesi a cavallo dell'opposizione: in quelle perieliche si osserverà l'emisfero Sud, in quelle afeliche l'emisfero Nord.

Durante le stagioni fredde su Marte le calotte polari permanenti di ghiaccio d'acqua vengono ricoperte di neve costituita di anidride carbonica. Nelle stagioni calde le calotte di anidride carbonica sublimano (vaporizzano) e in concomitanza si intensificano le caratteristiche scure (Mari e Canali): nel passato questo era stato considerato segno dello sviluppo di vegetazione. Oggi, dopo molti esperimenti biochimici condotti dalle sonde Viking e dalle successive, sappiamo che non esiste sul pianeta alcuna forma di vita confrontabile con quanto conosciuto sulla Terra. Questi fenomeni sono probabilmente determinati dallo scoprimento di terreni scuri dalle polveri rosse che li ricoprono da parte dei venti primaverili ed estivi, i quali soffiano dai poli all'equatore. Nelle stagioni successive i venti soffiano dall'equatore ai poli dove trasportano le polveri rosse di cui sono ricche le regioni equatoriali. È interessante seguire l'evoluzione di queste tempeste di sabbia e delle altre nubi (bianche) che si osservano vicino al terminatore. Anche il restringimento delle calotte deve essere te-



nuto sotto controllo in quanto è suscettibile di fornire informazioni termiche utili per la comprensione del clima marziano. Tenendo una registrazione continua delle caratteristiche osservate si può contribuire a mettere in evidenza cambiamenti secolari nella morfologia marziana.

Poiché il periodo di rotazione di Marte è vicino a quello terrestre (24h 37min 22,654s del nostro tempo solare medio) lo stesso particolare sarà visibile nella stessa posizione 37,4 minuti più tardi ogni sera. Marte ha un sistema di coordinate paragonabile a quello terrestre: il meridiano che ci appare di fronte, l'unico ad apparire lineare, è chiamato meridiano centrale e la sua longitudine è fornita dagli Almanacchi (es. UAI) per ogni giorno dell'anno. Tramite la tabella riportata a pag. 70 dell'Almanacco UAI si può calcola-

Un "selfie" del rover Curiosity ripreso il 15 giugno 2018 nel corso di una tempesta di sabbia. (NASA/JPL-Caltech/MSSS)

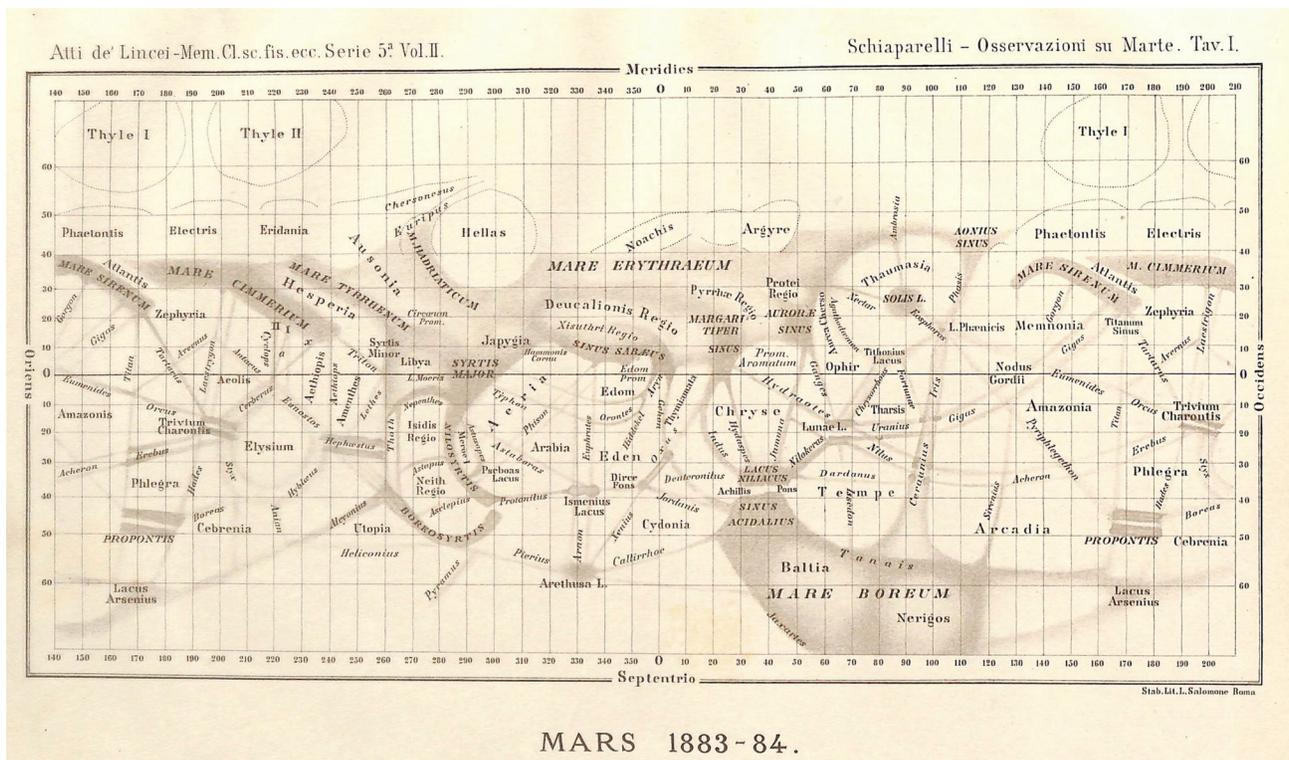


Fig. 60. Mappa di Marte con la nomenclatura dei particolari più evidenti.

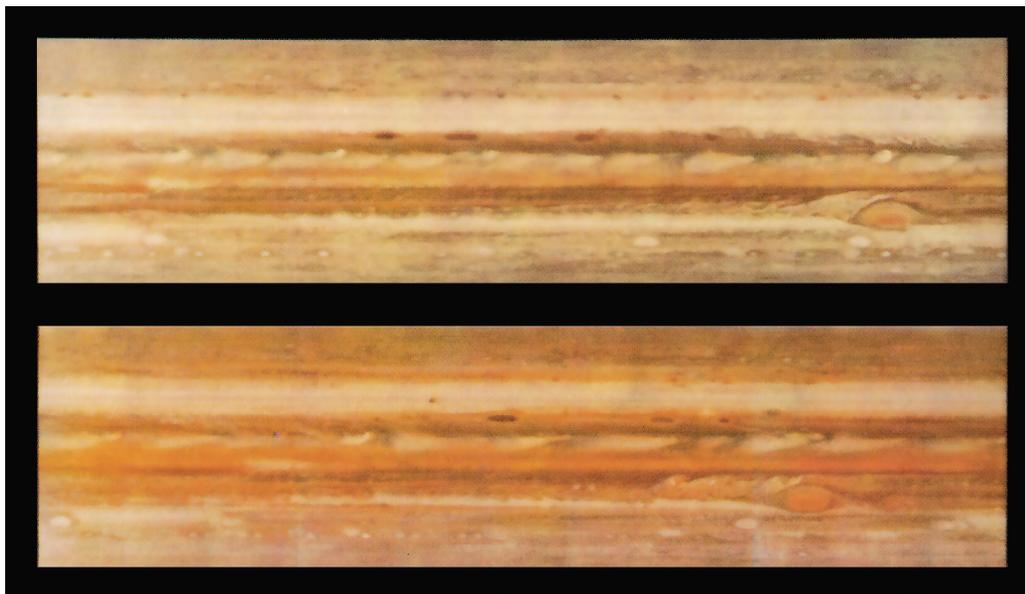
re agevolmente la longitudine del meridiano centrale per qualsiasi ora del giorno.

Date le caratteristiche fotometriche vicine, la fotografia di Marte è sostanzialmente simile a quella lunare, sebbene il minor livello del contrasto suggerisca l'uso di particolari tecniche di ripresa e di elaborazione delle immagini.

GIOVE. Le varie sonde messe in orbita o transitate vicino al pianeta hanno confermato l'esattezza delle osservazioni fatte da terra, sia relativamente alla forma che alla natura delle caratteristiche visibili. Nubi co-

lorate (gialle, brune, rosse) o squarci di cielo sereno (blu) si alternano in un'atmosfera turbolenta costituita di idrogeno ed elio. Data la natura stessa e l'evoluzione osservata per le principali caratteristiche (bande scure, zone chiare, Macchia Rossa, pennacchi equatoriali), è importante continuare il meticoloso lavoro di sorveglianza sistematica che da qualche secolo viene compiuto da dilettanti di tutto il mondo.

Sulle bande scure o sullo sfondo chiaro delle zone si rendono visibili caratteristiche a rapida evoluzione (da qualche mese a qualche anno) sotto forma di macchie scure (rosse,

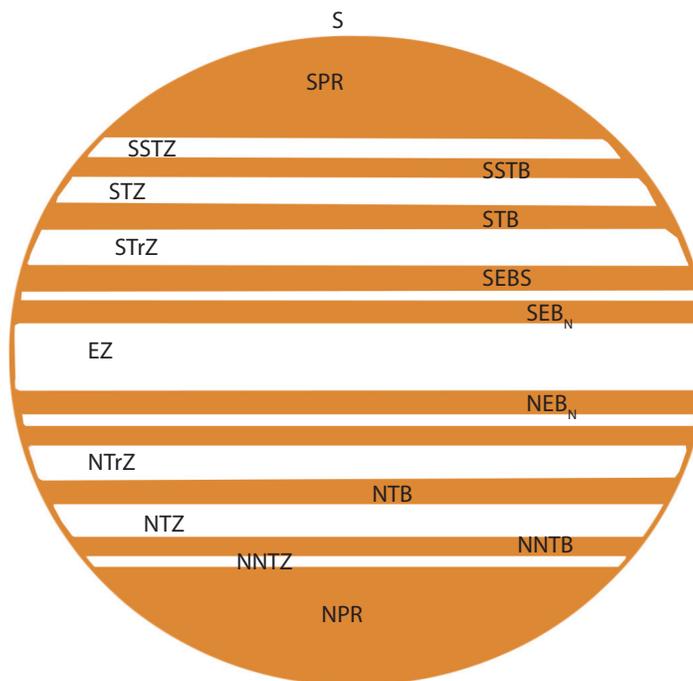


Proiezioni cilindriche di Giove riprese dalla sonda Voyager 1, sopra, febbraio 1979, e da Voyager 2, sotto, giugno 1979.

Qui sotto, Fig. 61. Nomenclatura delle fasce scure e delle zone chiare di Giove.

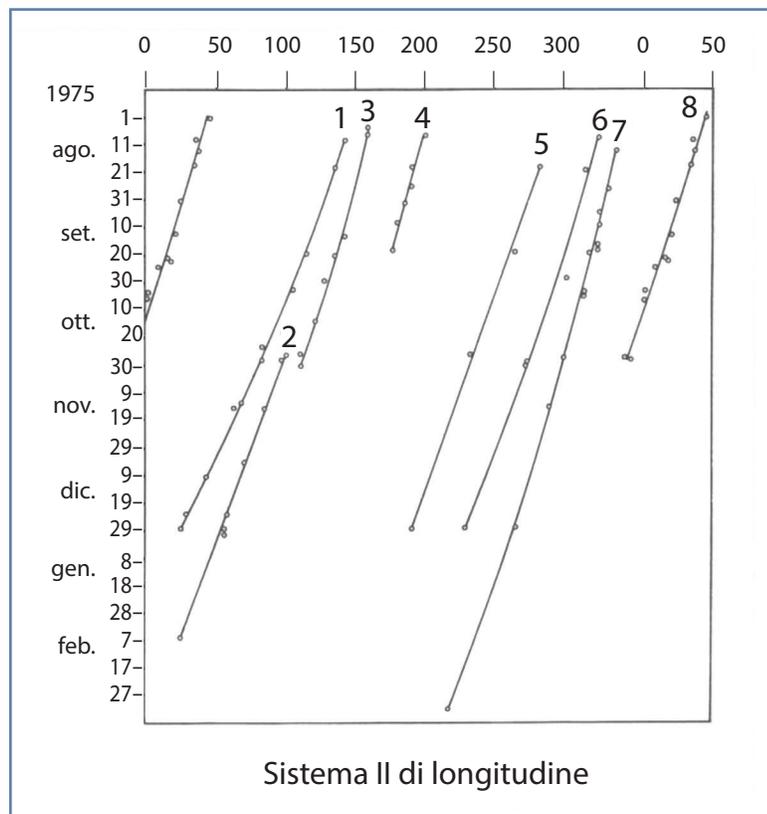
grigie o azzurrine) o più brillanti dello sfondo normale. La nomenclatura è standardizzata (fig. 61) per cui è conveniente attenervisi. La Macchia Rossa, che è sotto continua osservazione (forse dai tempi di Gian Domenico Cassini) sembra in lentissima evoluzione (restringimento e rallentamento) sull'arco di tempo dei decenni.

Il disco appare nettamente ellittico data la veloce rotazione (circa 9h 50min all'equatore e 9h 55min alle latitudini intermedie, con punte di 9h 59min) e le caratteristiche sono viste spostarsi a distanza di pochi minuti. Risulta pertanto agevole stimare visualmente l'istante in cui una certa caratteristica viene a trovarsi al meridiano centrale, MC (data la ridotta entità della fase si tratta del segmento che passa per il centro del disco in direzione perpendicolare alle bande): calcolando



la longitudine del MC all'ora così ottenuta (tabella riportata a pag. 71 dell'Almanacco UAI) si ha automaticamente la longitudine del particolare osservato. Portando quindi in diagramma il valore della longitudine di un determinato particolare (bisogna essere certi che sia proprio lo stesso!) in funzione del tempo (fig. 62) si ottengono delle curve la cui pendenza, espressa in gradi di longitudine per giorno terrestre, è in relazione con il periodo di rotazione ovvero con la velocità della caratteristica rispetto al sistema di coordinate.

Fig. 62. Spostamento in longitudine (asse delle ascisse) di alcune macchie della Banda Temperata Nord (NTB) di Giove.



Data la grande diversità di velocità alle varie latitudini sono correntemente assunti tre sistemi di coordinate: il Sistema I, che viene applicato per i particolari osservati in regioni comprese tra SEBc e NEBc (incluse), il Sistema II, che si applica alla parte restante del pianeta, e il Sistema III che si riferisce alle emissioni radio provenienti dal nucleo del pianeta. Le grandi dimensioni apparenti, comprese tra 30" e 47", la presenza continua di bande scure, la vicinanza di quattro satelliti che a volte proiettano la loro ombra sulle nubi e a volte si immergono nella sua ombra, fanno di Giove uno dei pianeti più eccitanti per l'osservatore visuale.

Il lavoro fotografico è invece alquanto delicato, sebbene le moderne camere elettroniche e i programmi di elaborazione delle immagini consentano di fare un ottimo lavoro anche con strumenti di piccolo diametro.

SATURNO. Come hanno confermato le sonde che si sono inserite in orbita o che l'hanno avvicinato, il globo di Saturno è sostanzialmente simile a quello di Giove e anche la presenza di un ricco corteggio di anelli e satelliti non è prerogativa unica di Saturno ma è condivisa da Giove e Urano. Data però la bassa probabilità di osservare particolari tra le bande e le zone di Saturno, l'osservazione visuale è spesso diretta allo spettacolo offerto dagli anelli e dai satelliti, una mezza dozzina se si usa uno strumento

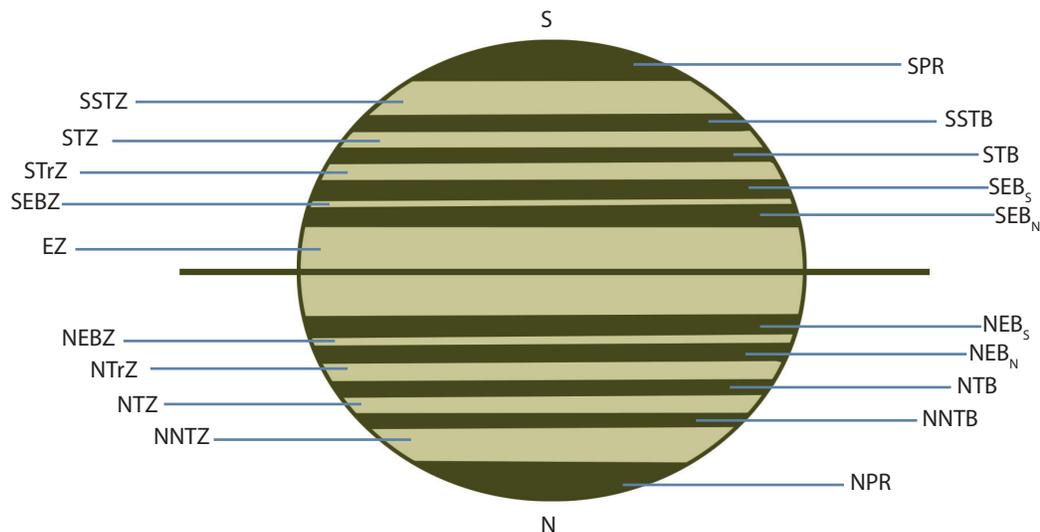


FIG. 63. Nomenclatura delle fasce scure e delle zone chiare di Saturno.

di 200 mm. L'osservatore sistematico e paziente sarà premiato dalla visione di particolari sugli anelli, o dall'apparizione di grandi macchie chiare sul disco: la determinazione della loro longitudine, eseguita come nel caso di Giove tramite l'uso di Almanacchi (per esempio quello dell'UAI) e la cronometria del transito al MC, permetterà di determinare il periodo di rotazione alle varie latitudini che, a parte i dati forniti dalle sonde, non è noto con grande dettaglio nella sua evoluzione temporale.

Le bande hanno una nomenclatura paragonabile a quella gioviana (*fig. 63*) e sembrano variare nel tempo sia in intensità che in latitudine: è interessante seguire con sistematicità queste variazioni. La nomenclatura degli anelli e delle divisioni (Encke e Cassini) è solamente in-

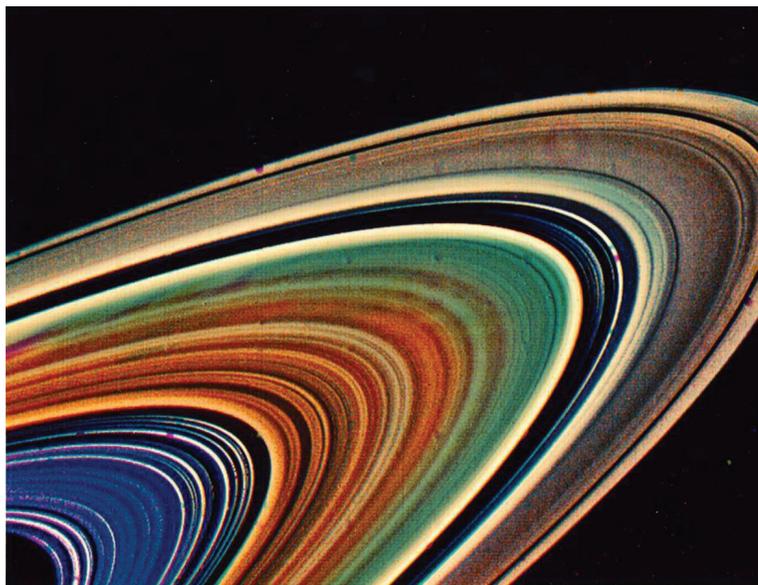


Immagine a falsi colori degli anelli di Saturno presa dal Voyager 2 il 17 agosto del 1981 da una distanza di 8,9 milioni di km. Si possono distinguere in questa immagine particolari sino ad una larghezza di 20 km. (NASA/JPL)

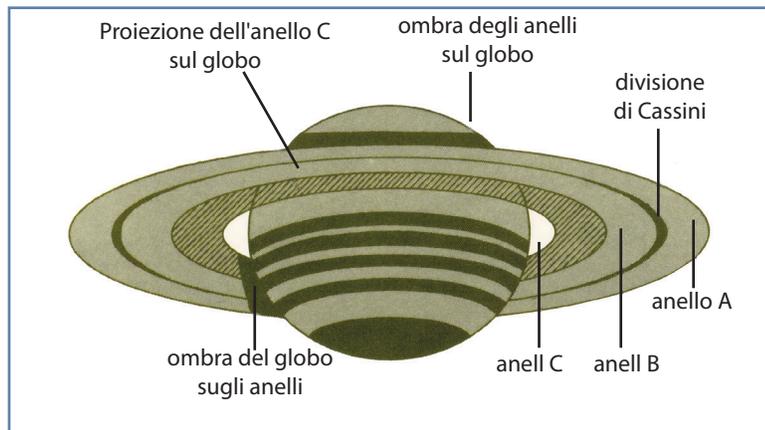


FIG. 64. Nomenclatura di alcune caratteristiche degli anelli di Saturno.

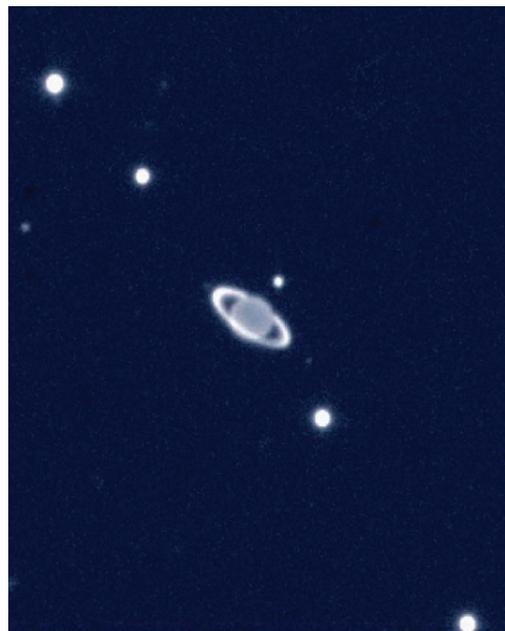
dicativa e di interesse storico, dato il loro aspetto molto complesso rivelato dalle sonde Voyager

URANO, NETTUNO. Questi pianeti sono così lontani che l'osservazione delle loro superfici, specie dell'ultimo, non è fattibile neppure con grandi strumenti. È certamente un'emozione trovarli e riconoscerli dalle stelle per il fatto che presentano un disco non trascurabile, ma siamo così lontani dal nostro pianeta che i telescopi non sono più un valido aiuto, almeno finché restano immersi nella nostra ribollente atmosfera.

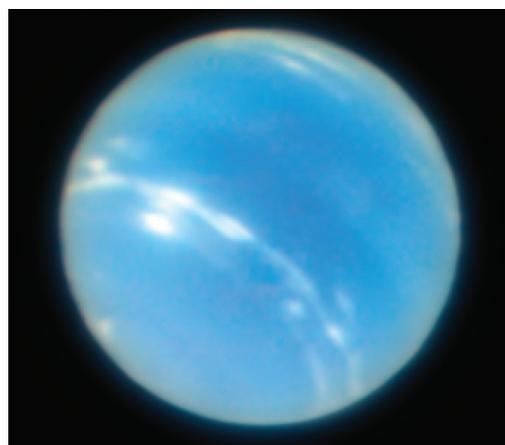
A destra. Nettuno ripreso durante la fase di verifica dell'ottica adattiva a Campo Stretto dello strumento MUSE/GALACSI installato sul VLT (Very Large Telescope) dell'ESO. Anche Nettuno è circondato da anelli, non visibili però con piccoli telescopi amatoriali.

SEZIONI PLANETARIE

- Unione Astrofili Italiani.
- British Astronomical Association.
- Association of Lunar and Planetary Observers.
- Association of Lunar and Planetary Observers Japan.



Qui sopra. Non è Saturno ma Urano con alcuni dei suoi satelliti ripreso il 19 novembre 2002 dal VLT (Very Large Telescope) dell'ESO. Le favorevoli condizioni di osservazione hanno permesso un'esposizione di cinque minuti. La ripresa è stata possibile grazie allo strumento multimodale ISAAC del VLT. (VLT, ESO)



CORPI MINORI DEL SISTEMA SOLARE

PIANETINI. Confinati sostanzialmente tra le orbite di Marte e Giove, numerosissimi corpi di diametro compreso tra il migliaio di chilometri e... quello di un granello di sabbia, orbitano intorno al Sole quasi a costituirne un anello. In realtà parecchi pianetini possiedono orbite così ellittiche da penetrare entro quella terrestre, rischiando un incontro ravvicinato, oppure di uscire addirittura da quella di Saturno. Altri hanno orbite così inclinate sull'eclittica da spaziare a nord e sud di essa. I pianetini più grandi, Cerere, Pallade, Giunone e Vesta, orbitano tra 2,36 e 2,77 UA dal Sole. All'opposizione appaiono di luminosità accessibile anche a piccoli strumenti (60 mm). Gli Almanacchi riportano le effemeridi per questi corpi in modo che risulti agevole trovarli e osservarli, a patto di disporre di un atlante stellare che permetta di distinguerli dalle stelle. Su una ripresa a lunga posa (30-60 minuti) si mostrano in movimento lasciando una traccia di lunghezza apprezzabile purché venga usato uno strumento di focale opportuna (almeno 500 mm).

Riprese eseguite con strumenti di media potenza (più di 200 mm di diametro) permettono lo studio del moto di pianetini poco conosciuti o addirittura, come illustri esempi in Italia dimostrano, di scoprirne di nuovi. I nuovi asteroidi sono accuratamente ripresi e la loro posizione misurata (programma Astrometrica) per consentire al MPC (Minor Planet Center) di precisarne l'orbita soprattutto per anticiparne un eventuale av-

vicinamento pericoloso alla Terra. Un'altra ricerca interessante è la fotometria di questi corpi allo scopo di determinare il loro periodo di rotazione e, nei casi più felici, la loro forma, tipo e duplicità.

FASCIA DI KUIPER. Al di là dell'orbita di Nettuno e fino a circa 50-100 UA dal Sole, sono stati scoperti, negli ultimi trent'anni, oltre 1000 corpi di dimensioni qualche volta superiori a quelle di Plutone (2400 km). Alcuni di questi possiedono satelliti (Plutone ne ha 5) e sono tutti probabilmente di natura ghiacciata (ghiacci d'acqua, ammoniaca, metano).

METEORE. Quelle che sentimentalmente vengono chiamate "stelle cadenti" sono nella maggior parte dei casi granellini di materiale solido, grandi qualche millimetro come quelli della sabbia, che entrano a grande velocità (decine di chilometri al secondo) nell'atmosfera terrestre. Per attrito contro questa essi si riscaldano fino a diventare incandescenti ed evaporare completamente, dando vita a un guizzo di luce, da cui appunto il nome.

Corpi più grossi, dell'ordine delle decine di centimetri di diametro, possono sopravvivere in parte all'intenso riscaldamento e giungere fino a terra: vengono chiamati bolidi, la loro apparizione è spesso accompagnata da rumori, scie di fumo e scoppi e sul luogo di caduta è possibile recuperare ciò che resta: il meteorite. Questo chiaramente nei casi fortunati in cui si ritrovi il luogo di caduta e il meteorite sia distinguibile dalle

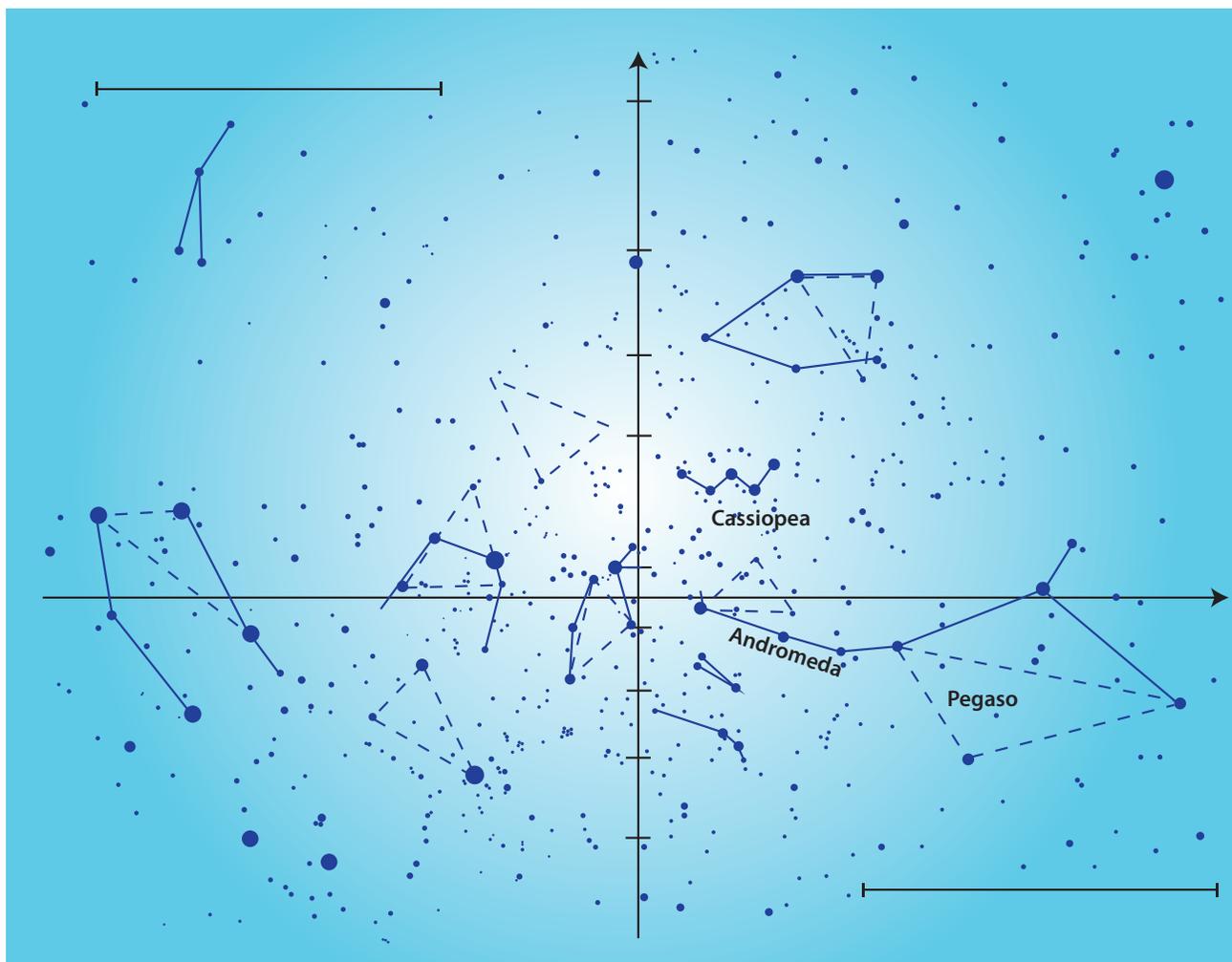
Fig. 65. Mappa in proiezione stereografica di una zona di cielo sulla quale riportare le traiettorie delle stelle cadenti osservate.

pietre comuni. Poiché esistono diversi tipi di meteoriti in funzione della costituzione chimica (ferrosi, carboniosi, petrosi) si tratta evidentemente di una ricerca delicata, per persone esperte.

L'osservazione delle stelle cadenti è invece facilmente fattibile sia visualmente che attraver-

so l'uso di un binocolo. L'importanza di studiare questi fenomeni è legata alla possibilità di descrivere la disposizione nello spazio delle nubi di particelle che li originano, di scoprirne di nuove e in definitiva di migliorare la conoscenza dello spazio intorno alla Terra.

Il lavoro consiste nel riportare il più fedel-



mente possibile sulle carte stellari (del tipo di quelle contenute in questo libro oppure in quelle apposite fornite dalle Sezioni omonime (fig. 65) il cammino della meteora e altre annotazioni come il colore, la magnitudine (v. *stelle variabili*), la permanenza di scie, rumori e altri effetti percepiti. Si memorizza la traccia al momento dell'osservazione prendendo come punti di riferimento le stelle che si sono venute a trovare nelle vicinanze dei suoi punti iniziale e finale. Stelle cadenti si osservano ogni notte, ma in particolare in determinati giorni (v. tabella riportata a pagg. 101-103 dell'Almanacco UAI), corrispondenti all'attraversamento da parte del nostro pianeta di orbite cometary lungo le quali questo materiale è disseminato.

LUCE ZODIACALE. Consiste in due triangoli di luce, apparentemente centrati sul Sole e giacenti vicino all'eclittica: i vertici distano dal Sole circa 90-100°. La luminosità è paragonabile a quella della Via Lattea: data la disomogeneità di brillantezza essa si presta a costituire con le sue varie zone una serie di standard contro cui stimare l'intensità della luce zodiacale, alla ricerca di variazioni. Queste sembrano essere connesse da un lato all'attività solare e dall'altro a variazioni secolari non facilmente interpretabili. È chiaramente nelle migliori condizioni di visibilità quando, nei mesi invernali, l'eclittica passa alta nel cielo. Ricordarsi di stimarne il colore, la forma e le dimensioni rispetto alle stelle vicine. Il fenomeno è probabilmente dovuto allo stesso materiale che produce le stelle cadenti, disposto prevalentemente sul piano dell'eclittica e



Una bellissima immagine di Petr Horálek che ha catturato, nel maggio 2022, la pioggia di meteore Eta Aquaridi. La ripresa mostra anche l'allineamento dei pianeti Venere (in basso, luminosissimo) e, salendo, Giove, Marte e da Saturno. Nell'immagine è visibile anche la luce zodiacale, il debole bagliore che si estende verso la Via Lattea. La ripresa è stata scattata vicino a San Pedro de Atacama, una città cilena a circa 50 km dal sito dell'osservatorio di Chajnantor. (ESO/P. Horalek)

sempre più rarefatto a mano a mano che ci si allontana da questo piano e dal Sole.

GEGENSCHIN. È un fenomeno di natura probabilmente simile al precedente, sebbene appaia di luminosità minore e sia localizzato vicino al punto anti-solare. Il Gegenschein è collegato alla luce zodiacale da una debolissima Banda Zodiacale, visibile solo in condizioni perfette di trasparenza atmosferica.

AURORE. Le particelle che costituiscono il vento solare (protoni, elettroni, nuclei di elio) precipitano verso l'atmosfera terrestre soprattutto in direzione dei Poli, dove sono deviate dal campo magnetico terrestre. L'impatto che ne consegue è in grado di eccitare nei gas atmosferici l'emissione di luce come capita ai gas dei tubi a fluorescenza. Il fenomeno appare come archi o festoni luminosi visibili in direzione dei Poli, ma possono coinvolge-

Aurora polare ripresa dall'Alaska. (cortesia di Sebastian Saarloos).



re anche gran parte o perfino tutto il cielo. I colori vanno dal giallo-verde al blu e al rosso, con intensità a volte veramente notevoli. Sono fotografabili nei casi più cospicui.

Immagini di aurore polari: le svariate forme riportate danno un'idea della particolarità del fenomeno che si può osservare in regioni prossime ai poli magnetici. I colori, le intensità e la forma possono cambiare anche a distanza di pochi minuti.

COMETE. Straordinari oggetti sulla cui influenza nefasta si favoleggia da millenni, le comete orbitano normalmente a grandi distanze dal Sole (mesi luce, nube di Oort). Si tratta di corpi ghiacciati grandi da qualche chilometro a qualche decina di chilometri e formati di ghiacci e polveri. A causa delle azioni gravitazionali di stelle vicine, alcune di queste "palle di ghiaccio" sporche di particelle meteoriche possono precipitare verso il Sole: in queste condizioni i ghiacci di cui sono costituite (acqua, metano, ammoniaca ecc.) vengono riscaldati a sufficienza per passare direttamente allo stato gassoso. Si sviluppa così la chioma (fig. 66 e foto della cometa Hale-Bopp a pag. 93) di dimensioni enormi rispetto al nucleo, la quale viene sospinta verso le regioni esterne del Sistema Solare dal vento solare: nasce la coda che risulta pertanto sempre opposta al Sole (foto a pag. 93).

La coda può essere di colore giallognolo nel caso in cui sia costituita di particelle di tipo meteorico che riflettono la luce solare, o verde-azzurro quando prevalgano i gas sprigionati, eccitati a emettere luce dal vento solare (fenomeno simile alle aurore).

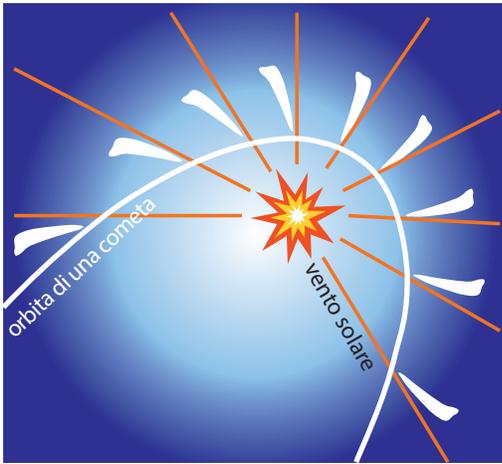
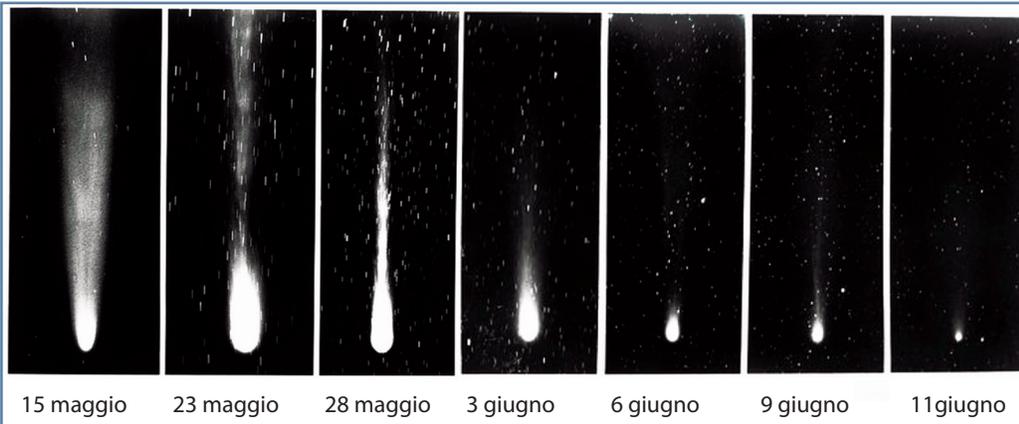
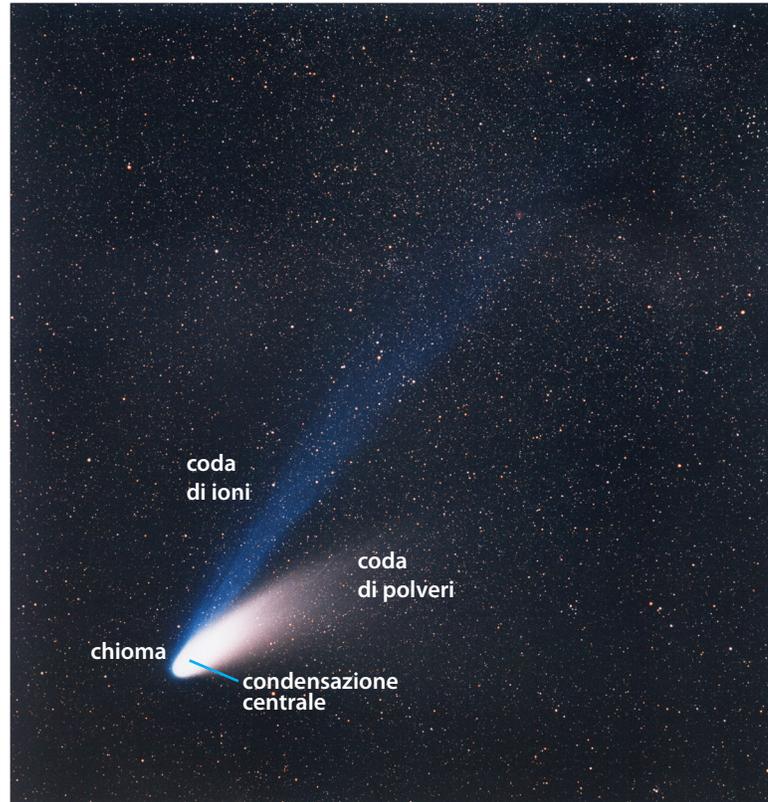


Fig. 66. Schema di orbita di una cometa

Qui sotto vediamo la cometa di Halley fotografata in tempi successivi durante l'apparizione del 1910. Si osservi il progressivo sviluppo della coda che assume dimensioni sempre meno importanti con l'allontanamento della cometa dal perielio. Nel suo avvicinamento al Sole la cometa mostra il cambiamento di



La cometa di Halley nel 1910.

Sopra. La cometa C/1995 O1 Hale-Bopp ripresa il 14 marzo 1997. In questa foto, ottenuta con un teleobiettivo, la coda di polvere si apre a destra, mentre la coda di ioni blu, luminosa e ben separata, punta direttamente verso il Sole. (ESO/E. Slawik)

coda, da polverosa (giallastra e omogenea) a gassosa (filamentosa e bluastro, v. *figura della Hale-Bopp a pag. 93*). È interessante determinare la luminosità delle varie parti della cometa paragonandola a quella di stelle note. Per determinare la luminosità del nucleo si opera come nel caso delle stelle variabili (*vedi*); per la chioma e la coda si opera in maniera particolare. Si paragona l'immagine a fuoco della chioma, che appare come un disco luminescente dai bordi sfumati, con l'immagine sfocata di stelle note, eseguendo la sfocatura fino a ottenere per le stelle dischi di dimensioni identiche a quelle della chioma. È sicuramente il metodo migliore ed è di facile applicazione tramite un binocolo nel quale si può operare indipendentemente con i due oculari: quello manovrato dalla ghiera centrale sarà focalizzato sulla cometa (stelle puntiformi per la stima della luminosità del nucleo): quello adattabile a piacimento sarà mosso fino a realizzare la sfocatura necessaria. Analogamente si opera per le varie parti della coda.

Molto importante e relativamente facile la fotografia: con pose medie o lunghe si possono determinare la posizione del nucleo e la forma, orientazione ed estensione della coda. Per il lavoro di posizione è indispensabile uno strumento di focale almeno 500 mm, mentre per il lavoro geometrico è necessario usarne uno a grande campo (10° - 20°). Si ricorre a piccoli teleobiettivi o a strumenti appositamente costruiti (*v. gli astrografi nel caso delle stelle variabili*).

Usando le combinazioni ottiche delle foto planetarie (lunga focale) si può riprendere più volte il nucleo per scoprirvi getti ed eventuale rotazione.

ULTERIORI RICERCHE

Chi si interessa alla Luna può seguire, visualmente o con camere elettroniche, le sue occultazioni di stelle (utili per conoscere il moto lunare), pianeti e asteroidi. In particolare, la determinazione degli istanti di contatto dell'asteroide permetteranno, assieme alle misure di altri osservatori, di determinarne la posizione (utile per precisarne l'orbita), le dimensioni e la forma. Sui corpi trans-nettuniani si possono fare misure astrometriche come sugli asteroidi. Una fotometria accuratissima (precisione del millesimo di magnitudine) di una stella intorno alla quale un pianeta descrive un'orbita che contiene la nostra visuale, rivelerà un abbassamento di luminosità che, opportunamente interpretato, darà le caratteristiche di quel pianeta extrasolare. È possibile registrare gli spettri delle stelle più brillanti con un dispositivo poco costoso (circa 200 €), come lo Shelyak Star Analyzer 200, che si pone di fronte alla camera elettronica. Si forma sul sensore l'immagine della stella fiancheggiata dal suo spettro che, analizzato con un software opportuno (per esempio BASS Project, VSpec, ISIS) darà: lunghezza d'onda e intensità dei picchi, attribuzione all'elemento che ha emesso quella luce.

SEZIONI CORPI MINORI

- Unione Astrofili Italiani
- British Astronomical Association
- Association of Lunar and Planetary Observers

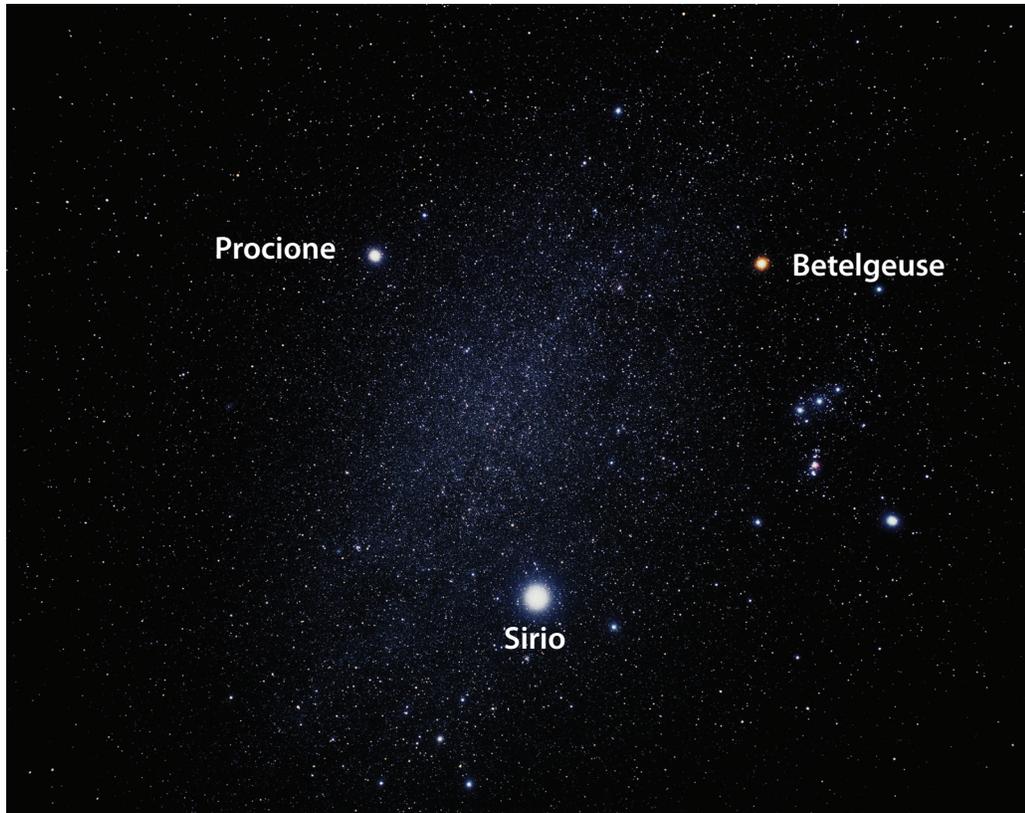
OSSERVAZIONI NELL'UNIVERSO

CARATTERISTICHE DELLE STELLE

La diversa brillantezza delle stelle viste a occhio nudo aveva condotto gli antichi a suddividerle in sei classi di luminosità, la prima essendo costituita dalle stelle più brillanti e la sesta raggruppando quelle che si trovano al limite delle possibilità dell'occhio (in media). Le classi vennero chiamate magnitudini: le stelle di magnitudine 1 sono le più brillanti, quel-

le di magnitudine 2, 3, ..., 6 appaiono via via sempre più deboli.

Oggi si usano molti modi per denominare le stelle. La maggior parte delle stelle fino alla magnitudine 3 circa ha un nome proprio, solitamente di derivazione greca o araba (tabella riportata a pag. 112 dell'Almanacco UAI). Le stelle più luminose che compongono una costellazione sono identificate da



Una ripresa delle costellazioni Orione, Canis Minor e Canis major. Sirio (considerata la stella più brillante del cielo) con la rossa Betelgeuse e Procyone formano il Triangolo Invernale. (Hubble European Space Agency, Akira Fujii).

FIG. 67. Allontanandosi dalla sorgente il flusso luminoso si distribuisce su una superficie sempre crescente, a distanza doppia la superficie è quadrupla, quindi l'illuminamento (il flusso) scende col quadrato della distanza.

◦ Studiando la relazione sperimentale esistente tra i flussi provenienti da due stelle diverse, da una parte, e le relative magnitudini dall'altra, Pogson trovò una legge empirica:

$$m_1 - m_2 = -2,5 \log_{10}(L_1/L_2)$$

dove m e L sono rispettivamente magnitudine e flussi delle stelle. Il logaritmo in base 10 (\log) di un numero è l'esponente che dobbiamo dare a 10 per ottenere quel numero:

$$\log 100 = \log (10^2) = 2$$

Come applicazione della relazione di Pogson vogliamo dimostrare che tra due stelle che differiscono in magnitudine di 5 unità esiste un rapporto di luminosità di 100 volte:

$$m_1 - m_2 = 1 - 6 = -5$$

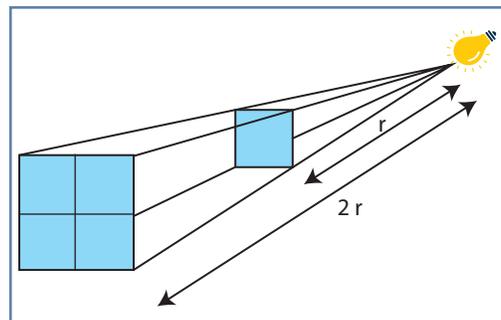
$$-2,5 \log_{10}(100/1) = -2,5$$

$$\log_{10}(10^2) = -2,5 \cdot 2 = -5$$

Il logaritmo in base 10 di un numero è fornito dalla maggior parte delle calcolatrici tascabili (\log).

una lettera greca (tabella riportata a pag. 112 dell'Almanacco UAI) seguita dal genitivo del nome della costellazione (es. α Lyrae). Tutte le stelle che si possono osservare a occhio nudo, comprese quelle appena considerate, hanno un numero progressivo in Ascensione Retta (per esempio 24 Cygni). Stelle deboli infine sono caratterizzate dalle coordinate a una certa epoca ed eventualmente dai numeri relativi a cataloghi in cui sono registrate (per es. Henry-Draper = HD; Bonner Durchmusterung = BD, ecc). Il genitivo del nome della costellazione viene solitamente abbreviato in tre lettere (vedi Wikipedia "Lista delle costellazioni"). Con l'impiego di opportuni strumenti (fotometri visuali, fotografici, fotoelettrici) si è potuto misurare la quantità di luce che le varie stelle inviano a terra.◦

Si è potuto concludere che le stelle che appaiono più brillanti inviano sulla Ter-



ra più luce di stelle che appaiono meno brillanti e la magnitudine delle prime è rappresentata da un numero più piccolo di quello usato per le seconde. La quantità di luce che giunge sul nostro pianeta è intuitivamente determinata da due fattori: da un lato, dalla luminosità intrinseca della stella; dall'altro, dalla sua distanza dalla Terra. Infatti stelle diverse poste alla stessa distanza rivelano la loro diver-



L'ammasso aperto delle Pleiadi nella costellazione del Toro. NASA, ESA, AURA/Caltech, Palomar Observatory

sità: stelle uguali poste a distanze differenti appaiono di luminosità differente. Sarebbe ideale sistemare tutte le stelle alla stessa distanza: in questo caso le differenze osservate sarebbero solamente quelle intrinseche. ◦

Per le stelle di cui conosciamo la distanza siamo in grado di valutare la magnitudine assoluta: ci accorgiamo che le luminosità intrinseche delle stelle sono molto differenziate e si va da centinaia di migliaia di volte quella del Sole (il quale a 10 parsec avrebbe $M = 4,78$) a

stelle quasi altrettante volte più deboli.

Ricordando che un altro parametro appariva differenziare le stelle, cioè la temperatura o il colore a essa legato, si può costruire un diagramma temperatura-luminosità (o colore-magnitudine o anche colore-grandezza) noto con il nome di diagramma di Hertzsprung-Russell dagli astronomi che lo composero per la prima volta all'inizio del Novecento. In questo diagramma è spiccata la tendenza delle stelle a sistemarsi entro precise fasce, in particolare nella cosiddetta

◦ Si conviene di porre tutte le stelle a 10 parsec (simbolo pc) dalla Terra invece che alla distanza reale d pc alla quale effettivamente si trovano: come illustrato in fig. 67 le luminosità apparenti dipendono dal quadrato della distanza. Raddoppiando questa, quelle diventano quattro volte inferiori (inversamente proporzionali). Indichiamo con m la magnitudine mostrata dalla stella alla distanza d parsec e con M la magnitudine (detta assoluta) che la stella mostrerebbe se fosse posta a 10 pc da noi. La relazione di Pogson deve valere:

$$m - M = -2,5 \log \left(\frac{L_d}{L_{10}} \right)$$

Tra le luminosità L_d ed L_{10} , abbiamo visto, esiste la relazione:

$$\frac{L_d}{L_{10}} = \frac{10^2}{d^2}$$

che, sostituita nella precedente, fornisce:

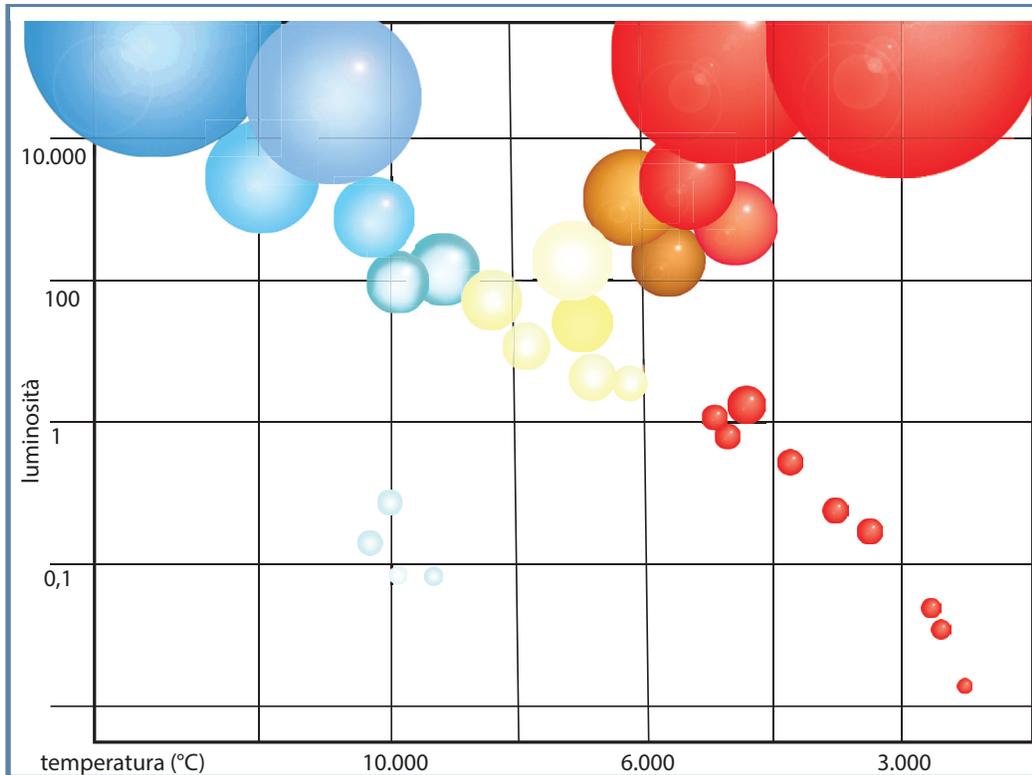
$$m - M = -2,5 \log \frac{10^2}{d^2}$$

Per le proprietà della funzione \log (il logaritmo di un prodotto equivale alla somma dei rispettivi logaritmi, il rapporto equivale alla differenza):

$$m - M = -2,5 (\log 10^2 - \log d^2)$$

$$m - M = -2,5 \cdot 2 + 2,5 \log d^2 = -5 + 5 \log d$$

relazione fondamentale della fotometria che, in assenza di assorbimento interstellare, fornisce una delle tre grandezze (magnitudine apparente, magnitudine assoluta o distanza) note le altre due.

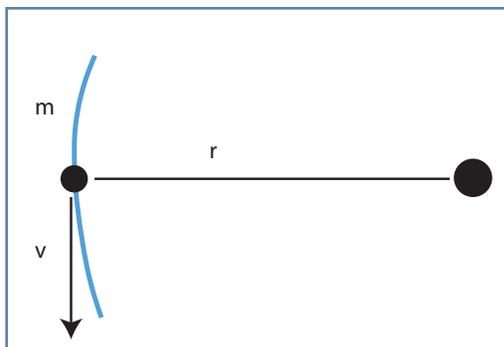


Nel diagramma H-R qui riportato, le stelle sono rappresentate da dischi di dimensioni proporzionali ai diametri effettivi e di colore vicino alla realtà.

sequenza principale, tanto da suggerire un fenomeno evolutivo comune, una regola cui tutte le stelle devono obbedire.

Oggi si pensa che le stelle nascano per contrazione di enormi nebulose gassose, secondo un processo iniziato per gravità o più probabilmente innescato da esplosioni stellari o da cause collegate al moto galattico (rallentamenti nei bracci di spirale). La contrazione prosegue in maniera accelerata sotto il dominio della forza gravitazionale che attira verso il centro della nube tutte le

Fig. 68. Parametri che permettono il calcolo del momento angolare J di un corpo che percorre un'orbita.



Il momento angolare J di un corpo di massa m (parte della nubecola) che ruota alla distanza r attorno a un punto (fig. 68) è funzione della velocità tangenziale v secondo la formula:

$$J = m \cdot v \cdot r$$

Nell'ipotesi che l'energia complessiva si conservi, se il raggio subisse qualche variazione dovrebbe variare di conseguenza la velocità. In particolare se r diminuisce v aumenta.

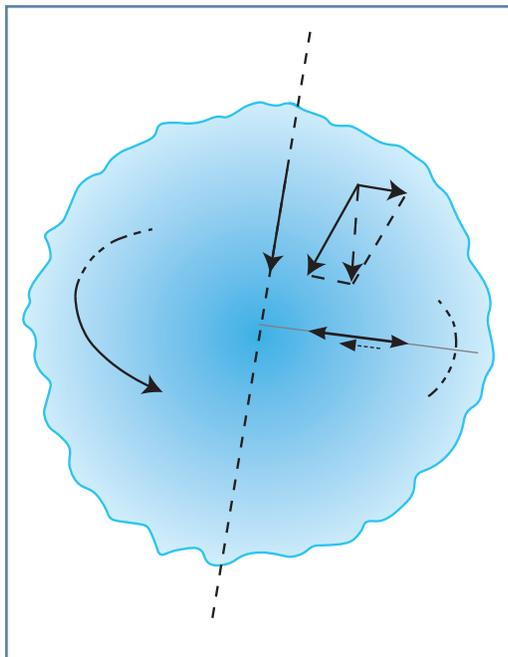
sue parti. La temperatura sale, come capita a qualsiasi gas compresso, e la nebulosa diventa instabile: segue una frammentazione in "nubecole" (centinaia, migliaia) da ognuna delle quali nascerà una stella per ulteriore contrazione. La temperatura della parte nucleare di ogni nubecola continua a salire al punto da innescare le reazioni di fusione dell'idrogeno a elio. In questa fase la stella, che appare entrare da destra nel diagramma H-R, in un punto tanto più alto quanto più materia ha, si avvicina alla sequenza principale dove perviene al momento dell'accen-

sione delle reazioni nucleari.

Ora possiamo seguire un altro processo evolutivo che può realizzarsi intorno a una stella nascente, cioè la formazione di pianeti. In effetti dal 1995 sono stati scoperti oltre 4500 sistemi planetari, per un totale di oltre 6000 pianeti. Di certo dovranno essere spiegate dal modello tutte le caratteristiche o regolarità che abbiamo incontrato: orbite di qualsiasi inclinazione, pianeti giganti molto vicini all'astro centrale e di grandi dimensioni, rari pianeti nella zona in cui la temperatura è adatta alla comparsa della vita. Tutti questi fatti suggeriscono scenografie molto differenti o fenomeni evolutivi ancora sconosciuti.

La nubecola dalla quale sta nascendo il Sole si trova fin dall'inizio in lenta rotazione, originata dalla turbolenza interna alla nube-madre, a sua volta legata alla differenza di temperatura tra l'interno (circa -170°C) e lo spazio esterno (-270°C). Mentre le dimensioni della nubecola diminuiscono in seguito al collasso gravitazionale, la velocità di rotazione aumenta se non viene persa energia verso l'esterno. *

Un'altra conseguenza della rotazione della nube, che va aumentando durante il collasso, è mostrata in fig. 69. Le parti che si trovano lontane dall'asse sono soggette a due forze, quella centrifuga dovuta alla rotazione e quella gravitazionale diretta verso il centro. La risultante delle due è comunque in grado di far precipitare la materia sul piano equatoriale. Su questo piano le particelle sono soggette alla forza gravitazionale parzialmente compensata dalla forza centri-



fuga, per cui la loro caduta verso il centro viene rallentata. Infine le parti della nube che stanno sull'asse di rotazione sono soggette solo alla forza gravitazionale e cadono rapidamente verso il centro. In conseguenza di questa situazione la nube in cui nasce la stella (nube proto-stellare) si appiattisce rapidamente trasformandosi in qualcosa di simile a un disco. È in questo disco che iniziano processi di aggregazione tra minutissime particelle (polvere) che formano insieme via via sempre più consistenti. Aggregati più grossi catturano aggregati minori e si ingigantiscono diventando di dimensioni quasi planetarie (planetesimi). Numerosissimi, questi ultimi cadono gli uni sugli altri: se la velocità è eccessiva si ha frammenta-

zione, se invece è sufficientemente bassa si ha coesione. La cattura di planetesimi porta i pianeti alle dimensioni attuali, mentre le ultime tracce di caduta sulle superfici già consolidate si manifestano sotto forma di crateri. La craterizzazione, comune a tutti i corpi solidi del sistema solare, è dunque la testimonianza delle ultime fasi del processo di accrescimento che ha generato ogni corpo osservabile.

La presenza di un'atmosfera impedisce una parte degli urti o ne attenua l'energia o ancora modifica, con l'azione erosiva, le tracce di crateri. Si può giustificare in questo modo la scarsità di crateri meteorici sulla superficie di Venere quale risulta dai dati delle sonde. La dinamica crostale di fratturazione (sulla Terra, la dinamica delle zolle) e il vulcanesimo rigenerano nuova crosta cancellando tracce più antiche. Questa è la ragione dell'assenza di crateri in porzioni più o meno ampie delle superfici di Marte, di Io e di Encelado.

Ritorniamo ora alla stella che è nata al centro della nube. Fintanto che vi è sufficiente idrogeno nel nucleo, l'energia che vi si libera controbilancia il collasso dovuto alla gravità e la stella conduce una esistenza tranquilla, che può durare qualche centinaio di milioni di anni per le stelle più massicce e sprecone, fino a parecchie centinaia di miliardi di anni per le stelle più piccole e parsimoniose. Il nostro Sole è di medie dimensioni e la sua vita si aggira sui 12 miliardi di anni: nato circa 5 miliardi di anni fa, ha davanti a sé ancora circa 7 miliardi di anni.

Quando, nel nucleo stellare, l'idrogeno co-

Fig. 69. L'arco direzionato mostra la rotazione della nube, mentre le altre frecce indicano le forze che agiscono sulle particelle di differenti porzioni della nube (gravità, forza centrifuga e loro risultante)

mincia a scarseggiare, l'energia sprigionata non contrasta più il collasso gravitazionale che riprende libero: il nucleo della stella diventa sempre più piccolo e la sua temperatura sale al livello del centinaio di milioni di gradi. A tale temperatura si innescano nuove reazioni termonucleari a partire dall'elio, con produzione di carbonio e ossigeno. La repentina erogazione di energia dal nucleo contrasta e perfino supera la forza gravitazionale per cui la parte di stella sopra il nucleo si gonfia, fino a diventare centinaia di volte più grande del Sole. La superficie che emette luce è enorme e la luminosità sale a un punto tale da portare la stella nei rami delle giganti, in alto a destra nel diagramma H-R. Il ritmo di combustione dell'elio è molto più rapido di quello dell'idrogeno e questa fase dura relativamente poco: a essa segue la contrazione del nucleo, che può portare alla fase di *nana bianca* (in basso, a sinistra nel diagramma H-R), oppure, se il nucleo ha abbastanza materia, a un riscaldamento sufficiente a innescare nuove reazioni nucleari che porteranno a sintetizzare zolfo, silicio e così via, fino agli atomi del gruppo del ferro. Una nana bianca è una stella di piccole dimensioni (circa 10 000 km) ma di massa pari a quella solare. Un centimetro cubo della sua materia pesa qualche tonnellata. Se la materia è abbondante (più di due volte la massa del Sole) la contrazione finale può portare alla degenerazione della materia stessa: la stella è costituita di neutroni ed è così piccola (10 km circa) che un cucchiaino di questa sostanza pesa miliardi di tonnellate! La forza gravitazionale può essere così

grande che neppure la luce emessa riesce a fuggire, pur viaggiando a 300 000 chilometri al secondo: si è formato un *buco nero*. Per intendere bene le proprietà della materia in queste situazioni estreme è bene che il lettore consulti la bibliografia.

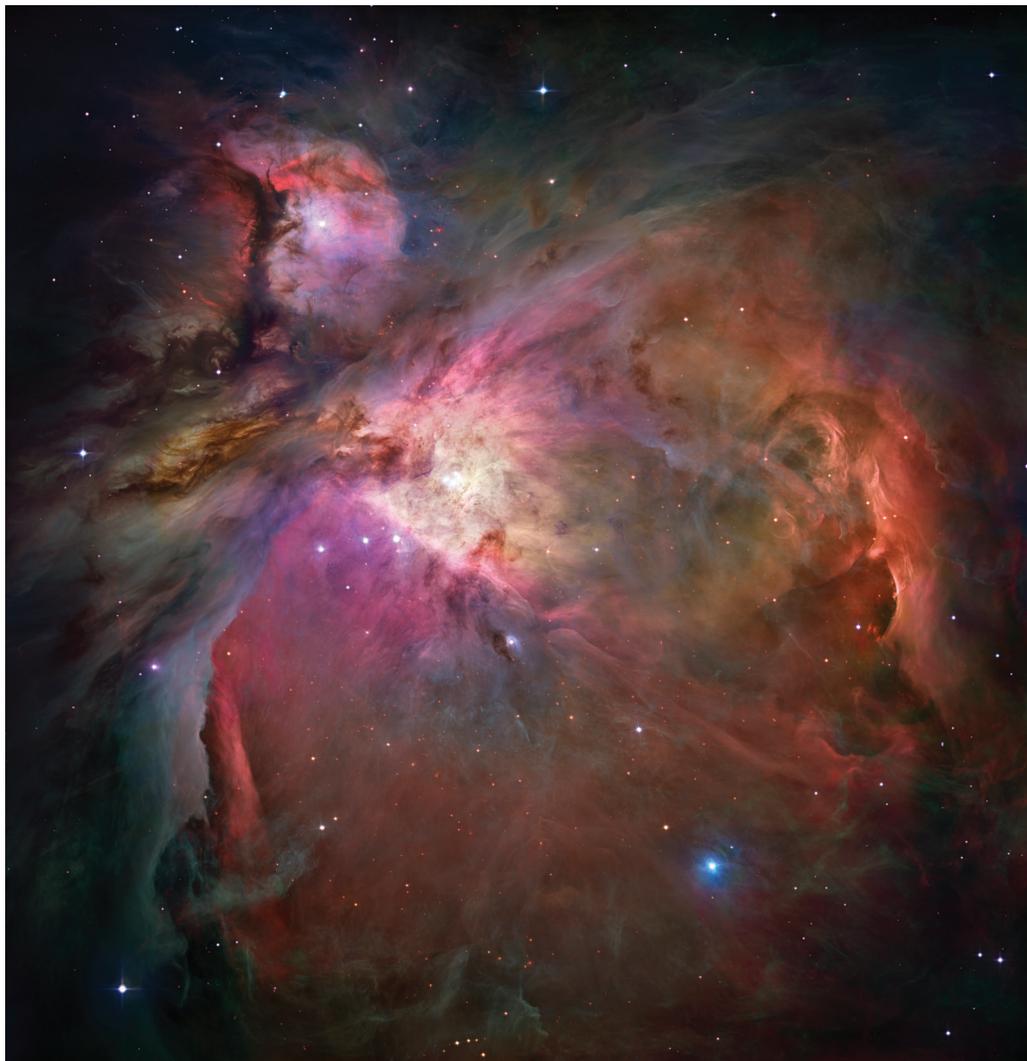
Riguadagniamo il posto di osservazione all'oculare di uno strumento per scorgere intorno a noi i segni di queste linee evolutive.

NEBULOSE GALATTICHE

Appartengono a questa categoria tre specie di oggetti: le nebulose a riflessione, quelle a emissione e quelle oscure.

Nelle foto a lunga posa dell'ammasso delle Pleiadi (v. a pag. 96) le stelle principali risultano immerse in nebulose filamentose di colore azzurrino: tale colore è dovuto alla luce delle stelle (che essendo le più luminose e calde del gruppo stanno in alto a sinistra del diagramma HR e sono perciò di colore blu). La loro luce viene riflessa verso di noi da materiale polveroso (polvere interstellare) probabilmente una miscela di polvere di carbone e sabbia. Le nebulose a riflessione sono di solito tanto deboli da essere difficilmente visibili a occhio nudo o con strumenti che in ogni caso devono fornire il minimo degli ingrandimenti. Un binocolo è insuperabile in questo campo. Risulta spettacolare invece fotografarle con strumenti a grande campo e lunghi tempi di posa.

Il prototipo delle nebulose a emissione è la nebulosa di Orione: si tratta di una massa di gas idrogeno ed elio corrispondente a migliaia di soli, tanto grande che la luce impie-



Lo splendido spettacolo della Nebulosa di Orione ripresa dal Telescopio Spaziale Hubble. (NASA, ESA, M. Robberto, Space Telescope Science Institute/ESA e the Hubble Space Telescope Orion Treasury Project Team)

ga centinaia di anni ad attraversarla e nella quale stanno nascendo centinaia di stelle. La luce viene emessa con un meccanismo simile a quello delle code cometarie o delle aurore polari, ricevendo energia da stelle nelle vicinanze (in questo caso le stelle che

formano il Trapezio) e riemettendola sotto forma di luce e vento stellare. L'osservazione è agevole impiegando un binocolo ma la luce è così abbondante, di solito, che si possono impiegare tutti i tipi di strumenti. La fotografia fornisce risultati spettacolari a patto

Una composizione di immagini nel visibile e nel vicino infrarosso della nebulosa oscura Barnard 68 ottenuta con il telescopio VLT ANTU da 8,2 m e lo strumento multimodale FORS1 nel marzo 1999. A queste lunghezze d'onda, la piccola nuvola è completamente opaca a causa dell'effetto oscurante delle particelle di polvere al suo interno. (ESO)

di usare lunghe pose e camere a colori, (oppure la tricromia con tre filtri RGB o simili). Un tipo particolare di nebulosa a emissione mostra l'apparenza di un disco planetario quando osservato a debole ingrandimento: oggetti di questo tipo vengono chiamati *nebulose planetarie*. Si tratta di piccoli corpi generati dal gas emesso da una stella nelle fasi finali di gigante rossa, a causa del riscaldamento che ne deriva. Alla velocità di qualche migliaio di chilometri al secondo i gas emessi si allontanano dalla stella, provocando così la rapida dissoluzione di queste particolari nebulose.

Le nebulose oscure sono probabilmente del-

la stessa natura delle nebulose a emissione, ma sono molto dense e lontane da stelle che le possano illuminare. La loro presenza è segnalata dalla mancanza di stelle, specie in alcune regioni della Via Lattea, dove si vedono macchie scure circondate da un elevato numero di stelle. Le ramificazioni della Via Lattea che si vedono a occhio nudo sono dovute proprio a nebulose oscure che in alcuni casi vengono chiamate *sacchi di carbone*.

AMMASSI STELLARI

Si è detto che le stelle nascono contemporaneamente in gruppi numerosi dalle nebulose di gas e polveri. Se dal momento della nascita è trascorso poco tempo (ammassi giovani, milioni di anni) le stelle si trovano ancora vicine, in gruppi più o meno distinguibili di stelle di età paragonabile, sotto forma di ammassi aperti di cui le Pleiadi e l'ammasso doppio η e χ di Perseo ci offrono tipici esempi. Nel caso di ammassi antichi (miliardi di anni), formati probabilmente in condizioni di densità maggiore di quella delle nebulose attuali, il numero delle stelle è così elevato e le distanze relative così basse (quasi planetarie) da costituire gruppi gravitazionalmente legati, in cui ogni stella percorre un'orbita più o meno ellittica attorno al centro dell'ammasso. Si tratta degli ammassi globulari la cui età molto avanzata (10-12 miliardi di anni) ci narra la parte iniziale della storia del nostro Universo. Questi ammassi, tra l'altro, non si trovano – come avviene per le stelle giovani – praticamente sul piano della Galassia, ma in una regione sferica con lo stesso centro, l'alone galattico.





L'osservazione degli ammassi aperti richiede strumenti a grande campo come binocoli o piccoli telescopi, con pochi ingrandimenti ($D/6$) al fine di abbracciare un campo visivo sufficiente da comprendere l'ammasso. Gli ammassi globulari richiedono invece elevati ingrandimenti (D) per poter discernere le stelle periferiche e un debole globo baluginante dove qualche volta spiccano le stelle più luminose.

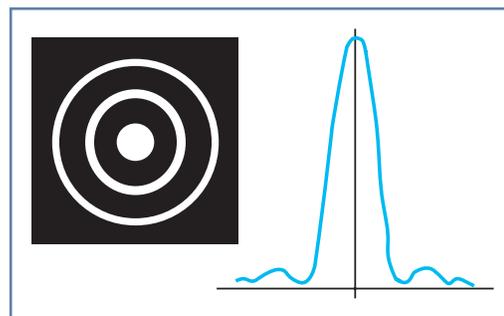
LE STELLE

Ormai sappiamo molte cose sui piccoli brillanti che trapuntano il cielo, in particolare che sono lontanissime da noi, tanto che nessuno strumento a terra è in grado di ingrandirle al punto da farcene vedere il disco. Sebbene negli ultimi anni con delle tecniche particolari siano state ottenute immagini di dischi stellari (Interferometria normale e Speckle) siamo ben lontani dal "vedere" la fotosfera delle stelle. Il fatto che le immagini stellari siano comunque puntiformi sembra non accordarsi con il fatto, ben visibile sulle

fotografie, che esse appaiono avere un certo diametro. Si tratta di un difetto dei sensori che, lasciati in posa per diversi minuti, consentono agli elettroni di un pixel di travasarsi nei pixel adiacenti, ma anche dell'effetto dell'agitazione atmosferica che sposta apparentemente le stelle in cielo.

Uno strumento perfetto fornisce di una sorgente puntiforme un'immagine complessa (disco di Airy) formata da un disco circondato di anelli sempre più ampi e tenui (centriche, *fig. 70*). Il diametro del disco centrale è funzione del colore della luce utilizzata e del diametro dell'obiettivo. ◉

La turbolenza atmosferica crea differenze di densità tra masse d'aria contigue che si comportano come enormi lenti, deviando in maniera continuamente variabile e in tutte le direzioni la luce stellare. Questo fenomeno, che è alla base della scintillazione, fa muovere decine di volte al secondo l'immagine di una stella rispetto al punto del rivelatore su cui dovrebbe cadere. L'immagine al fuoco è funzione delle dimensioni angolari del soggetto e della focale strumentale (*formula a pag. 73*). È evidente che risentiranno maggiormente dell'agitazione atmosferi-



Il doppio ammasso aperto η e χ Persei ripreso presso l'Osservatorio Europeo Australe. (ESO/S. Brunier)

◉ Per la luce gialla si ha:

$$\rho = 1,4 \cdot \frac{F}{D} \text{ in micrometri } (\mu\text{m})$$

dove si vede che uno strumento con $F/D = 10$ fornisce, per questo solo fatto, dischi stellari di diametro $14 \mu\text{m}$.

Fig. 70. (a sinistra) immagine del disco di Airy, cioè come appare una stella al fuoco di un obiettivo perfetto. (a destra) profilo fotometrico del disco di Airy misurato lungo un suo diametro.

ca strumenti a lunga focale, mentre questa nuocerà poco a piccoli obiettivi come quelli delle comuni macchine fotografiche. Queste costituiscono già da sole un formidabile strumento di osservazione, riuscendo a registrare in qualche minuto l'immagine di stelle di magnitudine 13-14. L'impiego di piccoli teleobiettivi (focale 130-200 mm) consente di rivelare stelle fino alla magnitudine 15-16.

Per andare oltre è necessario acquistare strumenti non comuni come importanti teleobiettivi, astrografi, camere Schmidt o impiegare direttamente i telescopi. Questi ultimi hanno il difetto di un campo modesto (poco più della Luna piena) ma, in funzione del diametro obiettivo, forniscono prestazioni veramente soddisfacenti. Si deve impiegare un moto automatico in ascensione retta (moto orario) privo di difetti e l'asse orario deve essere puntato verso il Polo Celeste con la tecnica già vista. Il puntamento del complesso fotografico deve essere controllato durante l'inseguimento tramite un cannocchiale parallelo (strumento di guida) o un oculare fuori asse. La tecnica è delicata e il suo apprendimento è legato a un certo tirocinio, ma i risultati sono ripaganti. Sul materiale di ripresa così ottenuto si possono stimare le magnitudini, come sarà spiegato più avanti nel caso delle osservazioni visuali.

L'osservatore che si pone al lavoro nel campo delle stelle, pur consapevole della sua posizione di ricercatore isolato, deve essere cosciente della importanza del suo ruolo e della irripetibilità delle

sue osservazioni. Si può citare il caso di un notissimo astrofilo, diventato poi astronomo: Giovanni Battista Lacchini. Tra gli anni 1910-1930, con mezzi modestissimi, egli poté compiere centinaia di migliaia di stime di un certo numero di stelle variabili, osservazioni uniche e perciò preziosissime.

Sarebbe necessario infine che, nell'aspetto quasi romantico di questa esperienza, si inserisse la precisa consapevolezza che solo una profonda collaborazione tra tutti coloro che si occupano di un dato argomento è in grado, come avviene in altri paesi, di conferire all'opera del singolo quel carattere eminentemente scientifico che gli compete, rivelandone tutta la straordinaria importanza.

L'osservazione delle stelle variabili è tra i programmi di lavoro più interessanti che ci si possa prefiggere. Non richiede l'uso di strumenti costosi ed elaborati in quanto spesso già un binocolo o un rifrattore da 60 mm sono quanto di meglio si possa impiegare visualmente (*tabella a pag. 60*). È emozionante registrare giorno dopo giorno, a volte ora dopo ora, le variazioni di luminosità di una stella, riportarne la magnitudine in un grafico in funzione della data di osservazione (curva di luce) e perciò descriverne la vita, le evoluzioni. Operativamente, si parte da una carta stellare che riporti la stella variabile e tutte le altre stelle osservabili intorno, in modo da ritrovare quella e queste nel campo di uno strumento (*fig. 71*). Le cartine si possono ottenere dalle associazioni che

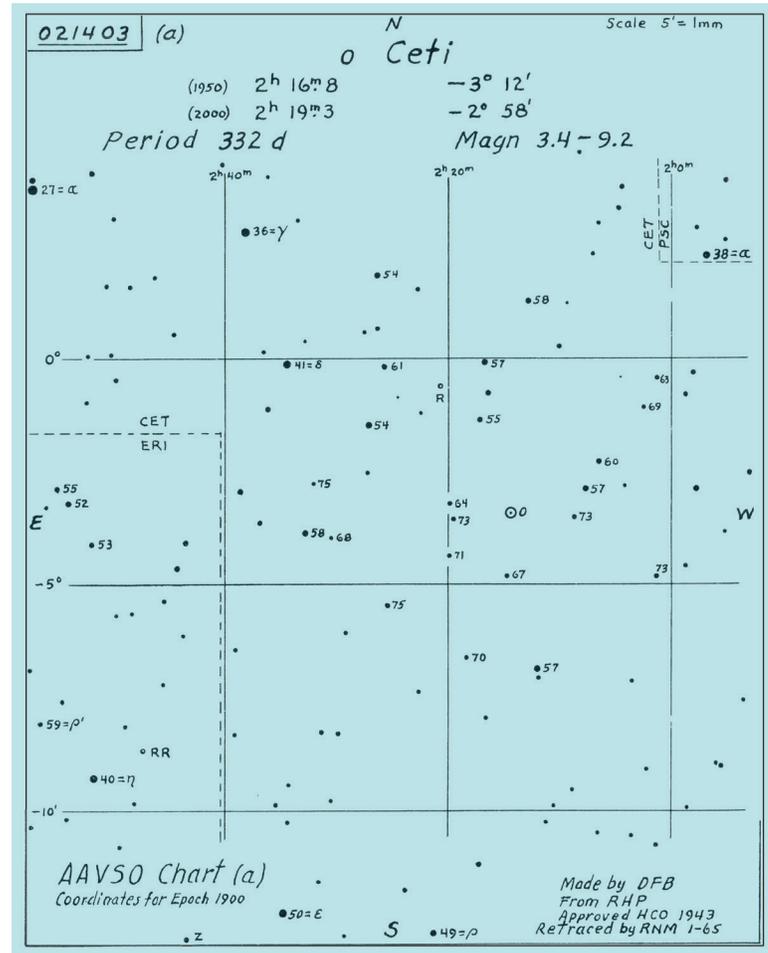
si occupano dell'argomento: iniziando un programma di osservazione su una stella senza consultare persone esperte, si rischia di lavorare molto per ottenere dati privi di importanza scientifica.

È bene allenarsi con stelle conosciute, come Algol o Mira Ceti, fino a impadronirsi della tecnica di stima e riuscire a riprodurre curve di luce già perfettamente note. Solo dopo questa fase iniziale è bene rivolgere l'attenzione a variabili che siano in grado di offrire motivi di interesse scientifico.

Identificata in cielo la variabile, si cercano nelle vicinanze le cosiddette stelle di confronto, la cui magnitudine nota servirà di paragone per la stima della magnitudine della variabile. Solitamente le stelle di confronto costituiscono una lista nella quale la magnitudine va continuamente aumentando con piccole differenze fra una e l'altra: è agevole trovare due stelle, una più luminosa e una più debole, tra le quali sembra situarsi la variabile nel momento dell'osservazione. Supponiamo che in una lista di stelle indicate con le lettere a, b, c, ..., m si abbia l'impressione che la variabile sia appena più luminosa della d e appena più debole della c; si scrive inizialmente:

$c () v () d$

indicando quale coppia di stelle racchiude la variabile, la c essendo più luminosa di d. In seguito si tenta di dividere mentalmente l'intervallo di magnitudine tra c e



d in un certo numero di parti (2, 3, 4, o 5) e di stimare con questi gradini la distanza tra la variabile e le due stelle di confronto. Supponiamo di stimare in tre gradini la distanza tra c e v mentre due di tali gradini sembrano separare v da d. Si scriverà:

$c (3) v (2) d$

e si calcherà, a posteriori per non lasciarsi

Fig.71. Tipica cartina fornita dall'AAVSO per il riconoscimento di una stella variabile e delle stelle di confronto. I numeri rappresentano la magnitudine senza il punto decimale: 68 = magnitudine 6,8.

influenzare, la magnitudine della variabile con la formula:

$$m_v = m_d + 2 \cdot (m_c - m_d) / (3 + 2)$$

Il numero dei gradini dovrebbe essere sempre il minimo che consente una stima sicura: 1-1, 2-1, 3-1, 3-2 sono di solito più che sufficienti a stimare m con la precisione di 0,1 magnitudini, che è quanto di meglio si possa sperare di fare visualmente. Se la differenza tra due confronti contigui fosse superiore a 0,5 magnitudini, cosa che disgraziatamente accade a volte, è necessario aumentare il numero dei gradini ma si constaterà una sempre minore sicurezza nell'esprimere la stima.

Le cause di errore sono sfortunatamente molte ed è necessario conoscerle per prendere di volta in volta le necessarie precauzioni. Quando due stelle (la variabile e una di confronto per esempio) hanno diverso colore, poniamo una rossa e l'altra azzurra, non è facile dire quale delle due sia la più luminosa e, a mano a mano che la stella rossa diminuisce di luminosità, sembrerà sempre più luminosa di stelle blu effettivamente uguali (effetto Purkinie). Si può ridurre il disturbo osservando attraverso un filtro giallo, tipo Wratten 9, oppure attraverso uno strumento meno potente, che non permetta di percepire i colori. Di due stelle poste parallelamente alla linea degli occhi, un osservatore stima sistematicamente più luminosa una, poniamo quella di destra, tanto che se le due stelle sono scambia-

te, e inizialmente apparivano identiche, viene ancora stimata più luminosa quella che appare alla destra. Tale causa di errore è eliminabile stimando due volte, una attraverso un oculare semplice e una dopo avere interposto un prisma zenitale che inverte due posizioni (destra-sinistra oppure alto-basso) a seconda dell'orientazione.

Il ricordo, anche inconscio, della stima eseguita in precedenza, sia nella stessa sera che in sere diverse, tende a far ritrovare lo stesso valore: è questa la ragione di certi andamenti a "dente di sega" nella curva di luce di variabili a lungo periodo. Per qualche giorno l'osservatore tende a ricordare la stima precedente e a stimare la stella alla stessa luminosità. Dopo un certo numero di giorni la variazione luminosa assumerà un'entità tale da non poter più essere mascherata dall'inconscio. Nella curva di luce appare una brusca variazione, che non ha nulla a che fare con il reale comportamento della variabile.

Infine l'errore più grave che si può compiere è quello di vedere ciò che ci si aspetta di vedere, per esempio il minimo di una variabile a eclisse o il massimo di una cefeide, in corrispondenza alle previsioni calcolate. Per ovviare a questo errore è necessario effettuare dei calcoli solamente approssimati e rimandare alla fine della campagna osservativa la precisa valutazione di eventuali sfasamenti.

TIPICI DI STELLE VARIABILI

Le variabili conosciute, oltre 30 000, sono state classificate in funzione della natura

della variazione luminosa. Quelle che seguono sono brevi descrizioni delle classi principali, l'elenco non è esaustivo.

Variabili a eclisse. Numerose nella popolazione giovane della Galassia (Popolazione I), rare negli ammassi globulari (Popolazione II, vecchia): la variabilità è legata a eclissi che mascherano la luce di una o dell'altra componente. A seconda del tipo di eclisse, e quindi di curva di luce, si distinguono in:

- **EA (tipo Algol).** Minimo principale profondo (la stella più luminosa è eclissata da quella più scura) e secondario debole (eclisse inversa), dato che le due stelle sono molto diverse di luminosità. Periodi da 4 ore a parecchi anni (fig. 72).

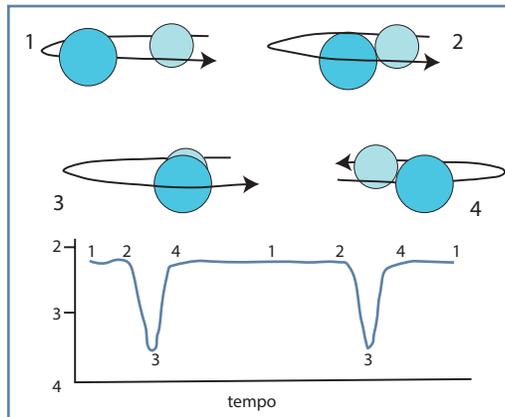


Fig.72.

- **EB (tipo β Lyrae).** Variazione continua tra i minimi principale e secondario in quanto le stelle sono poco differenti e molto vicine, tanto da deformarsi e scambiarsi materia. Periodi da 0,5 a 200 giorni (fig. 73).

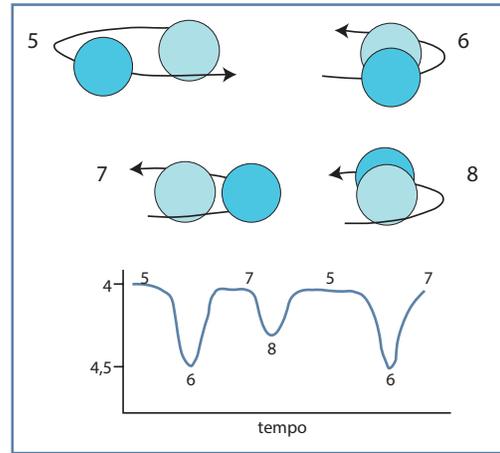


Fig.73.

Variabili pulsanti. Sono migliaia le variabili di questo tipo finora note, che devono la variazione luminosa a una fase di pulsazione che caratterizza la loro evoluzione al di fuori della sequenza principale del diagramma H-R. Esistono vari tipi:

- **C δ (tipo δ Cep).** Sono le classiche cefeidi con periodo compreso tra 1,5 e 50 giorni. Curva di luce regolare con piccole variazioni complessive (fig. 74).

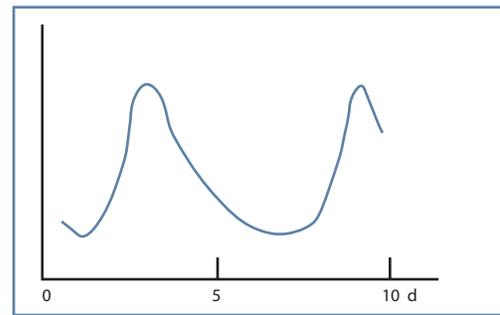


Fig.74.

In questa pagina e nelle successive, le curve di luce tipiche di varie tipologie di variabili descritte nel testo.

■ M (tipo Mira Ceti). Variabili con curva di luce piuttosto regolare e periodo compreso tra 80 e 1000 giorni. Ampie variazioni di luminosità (anche 10 magnitudini) nel visibile, ma molto ridotta (qualche magnitudine) nel rosso (fig. 75).

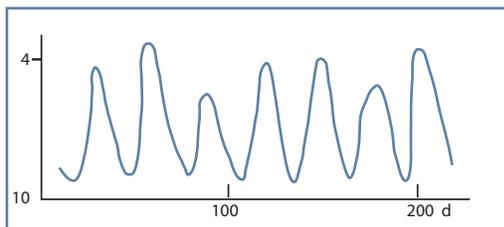


Fig.75.

■ SR (semi-regolari). Cicli grossolanamente ripetuti di durata tra 30 e 1000 giorni con ampiezza 1-2 magnitudini e luminosità media pure essa variabile (fig. 76).

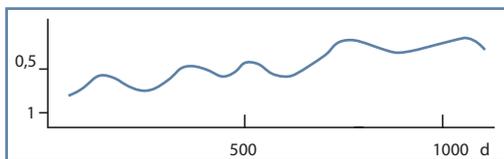


Fig.76.

■ RR (tipo RR Lyr). Presentano variazioni regolari con periodi per lo più compresi tra qualche decina di minuti e un giorno circa. Magnitudine assoluta media visuale circa 0,6, pressoché uguale per tutte le stelle indipendentemente dal periodo (fig. 77).

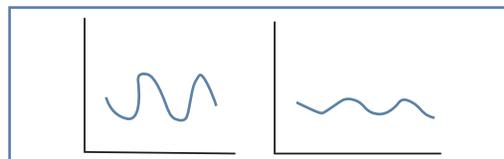


Fig.77.

■ RV (tipo RV Tau). Periodi di variazione da 20 a 140 giorni con minimi principali e secondari che a volte si scambiano. Caratteristiche irregolarità transitorie (fig. 78).

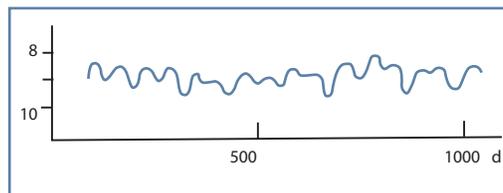


Fig. 78.

Variabili eruttive. La variazione è connessa a fenomeni esplosivi, da quelli tipo brillamenti solari a vere e proprie cataclismatiche esplosioni che distruggono la stella (Supernovae).

■ UV (tipo UV Cet o stelle a Flare). Presentano repentine variazioni di luminosità di durata da pochi minuti fino a qualche ora. Escursioni di 2-3 magnitudini. Sono molto frequenti negli ammassi giovani come Orione e Pleiadi (fig. 79).

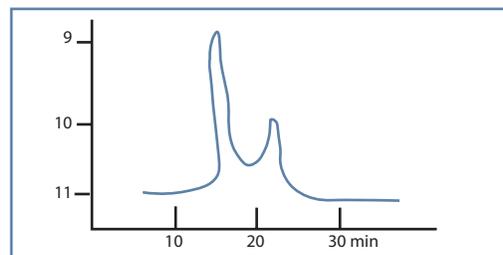


Fig.79.

■ UG (tipo U Gem). Debolmente oscillanti al minimo, subiscono improvvisi aumenti di luminosità a intervalli quasi

regolari e della durata da qualche ora a qualche giorno (fig. 80).

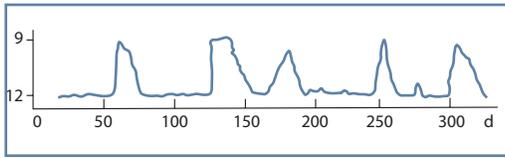


Fig. 80.

■ RW (tipo RW Aur). Associate a nebulose gassose, a volte anch'esse variabili, mostrano ampie e irregolari variazioni. Sono forse stelle in fase di contrazione gravitazionale (fig. 81).

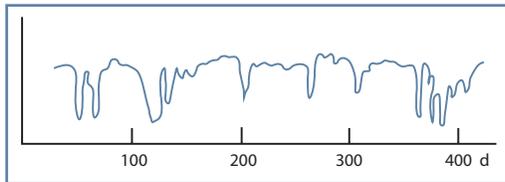


Fig. 81.

■ RCB (tipo R CrB). Normalmente costanti, a intervalli irregolari queste stelle subiscono nette diminuzioni di splendore, fino a 8 magnitudini. Tali diminuzioni sono collegate alla espulsione di polveri opache che occultano la fotosfera (fig. 82).

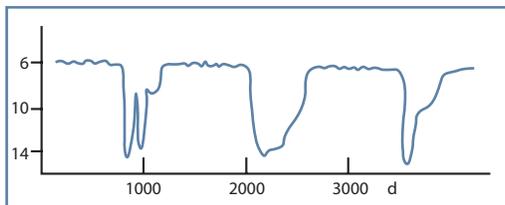


Fig. 82.

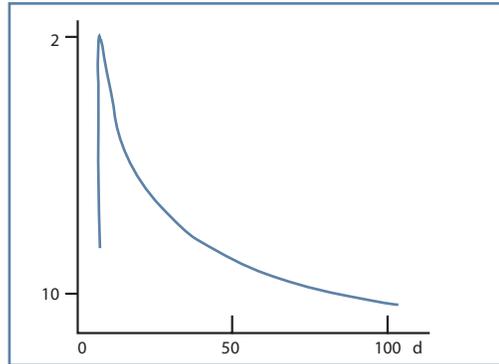


Fig. 83.

■ N (novae). Caratterizzate da un brusco aumento della luminosità anche di 10-12 magnitudini, ritornano poi lentamente alla luminosità iniziale (centinaia di giorni) (fig. 83). Si tratta di stelle doppie, dove una stella gigante si libera di materia che cade sulla piccola compagna (nana bianca) formando un disco di accrescimento nel suo intorno. Quando la materia del disco supera una certa quantità, e quindi temperatura, si verifica una reazione termonucleare che fa aumentare istantaneamente la luminosità del sistema. ◉

Alcune Novae sono ricorrenti con cicli di centinaia di anni e potrebbero perciò collegarsi alle UG, che sarebbero della stessa natura.

■ SN (supernovae). La variazione di luminosità è nettamente maggiore di quella delle novae e raggiungono una magnitudine assoluta al massimo attorno a -18 . Si dividono in 4 classi: SN Ia, SN Ib/c, SN IIB e SN IIP/L/N con caratteri-

◉ Esiste una relazione empirica tra la magnitudine assoluta al massimo e la rapidità del declino iniziale:

$$M_{\max} = 13,7 + 3,6 \log t_3$$

dove t_3 è l'intervallo di tempo necessario per la perdita di 3 magnitudini.

Una immagine del resto di supernova SN 1604. Essa sovrappone diverse immagini dell'oggetto a differenti lunghezze d'onda: raggi X, infrarosso, visibile. (NASA/ESA/JHU/R.Sankrit & W.Blair)

stiche illustrate da Wikipedia. Stelle di popolazione I (fig. 84).

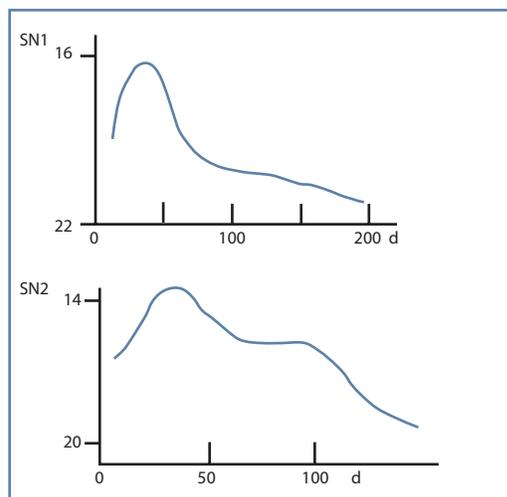


Fig. 84.

◦ Calcoli per convertire il tempo in frazioni di giorno.

Calcolare la frazione di giorno, cioè la parte decimale da aggiungere al Giorno Giuliano (JD), intero a mezzogiorno, per indicare l'ora dell'osservazione: 21h 34m 15s.

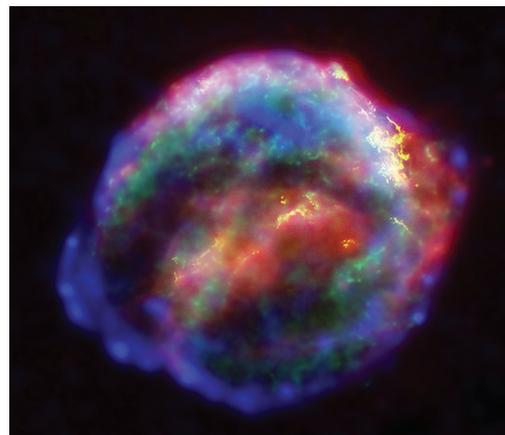
15 s equivalgono a $15/60 = 0,25$ minuti, che aggiunti ai 34 min fanno 34,25 min. Questi, trasformati in ore, equivalgono a $34,25/60 = 0,570833$ ore. Le ore 21 distano dal mezzogiorno (12h) 9h, differenza che, sommata a 0,570833, fornisce 9,570833 ore. Questo tempo, equivale a $9,570833/24$ giorni = 0,398785 giorni, che sarà quindi la parte decimale del JD desiderato.

SEZIONI STELLE VARIABILI

- Unione Astrofili Italiani
- British Astronomical Association
- American Association of Variable Stars Observers.
- Association Francaise des Observateurs d'Etoiles Variables.

USO DELLE EFFEMERIDI

Nell'osservazione delle stelle variabili periodiche si fa largo uso di previsioni basate su formule che forniscono la data di un massimo (cefeidi, RR Lyr, Mira) o di un minimo (eclisse) e prendono il nome di effemeridi:



$T = \text{Data iniziale (di un massimo o di minimo)} + \text{Periodo} \cdot E$

dove E, detto *epoca*, indica il numero di cicli verificatisi a partire dalla data iniziale. Il tempo viene contato in Giorni Giuliani (JD), a partire dall'1 gennaio 4713 a.C. scelto come anno 0, ed è rappresentato da un numero intero alle ore 12 di TU. Qualsiasi momento della giornata differente dal mezzogiorno di Greenwich è rappresentato da una frazione di giorno, che va aggiunta alla data intera del mezzogiorno precedente.

Come esempio, il JD corrispondente a mezzogiorno del primo di gennaio 2024 è 2 460 311 (alle ore 0 è 2 460 310,5. La corrispondenza tra tempo solare e frazione di giorno è spiegato nel testo riportato nel colonnino a sinistra ◦. Supponiamo di disporre della seguente effemeride di una variabile a eclisse:

$$T = 2\,433\,588,4396 + 0,7764592d \cdot E$$

La data iniziale 2 433 588,4396 si riferi-

sce a un minimo effettivamente osservato il 2 novembre 1950 alle ore 22h 33min TU (0,4396): avendo 4 cifre dopo la virgola, il numero ha una precisione dell'ordine di grandezza del minuto (1440 minuti in un giorno). Qualora si volessero precisare i secondi (86 400 in un giorno) sarebbe necessario indicare sei cifre dopo la virgola, ma tale situazione è irrealizzabile nella pratica delle osservazioni visuali dove non si può sperare in una precisione superiore a qualche minuto. Il secondo numero rappresenta il periodo, l'arco di tempo che intercorre tra due minimi successivi, espresso in giorni (d = giorno). Si tratta di un valore medio dedotto dall'osservazione di moltissimi cicli, per cui il suo livello di precisione può essere notevolmente elevato (6-7 cifre dopo la virgola). Se non si usasse questa precisione nel calcolo che segue si compirebbero errori notevoli.

Supponiamo di voler osservare il minimo della stella in oggetto da Parigi, a partire dal 7 settembre 2024 in ore notturne comprese tra le 21 e le 23 (che, in frazione di giorno, distano rispettivamente dal mezzogiorno 0,3750 e 0,4583) di TU. Parigi ha lo stesso fuso di Greenwich. La data JD corrispondente all'inizio delle osservazioni è 2 460 561,3750. Sottraendo da questa la data iniziale si ricava l'intervallo di tempo trascorso da quel minimo:

$$2\ 460\ 561,3750 - 2\ 433\ 588,4396 = 26\ 972,9354$$

Dividendo questo arco di tempo per il pe-

riodo si trova il numero di cicli effettuati nel frattempo dalla variabile:

$$26\ 972,9354 : 0,7764592 = 34\ 738,38084$$

L'ultimo numero, non intero, indica che il ciclo più vicino è già iniziato al momento dell'osservazione da 0,38084 giorni ($0,38084d \cdot 24 \frac{h}{d} \cdot 60 \text{ min/h} = 9h \text{ e } 8 \text{ min}$ prima

delle ore 21). Si calcolano allora le date dei prossimi minimi fino a trovarne uno che cada nell'intervallo orario desiderato:

$$34\ 739\text{mo minimo} = 2\ 433\ 588,4396 + 0,7764592 \cdot 34\ 739 = 2\ 460\ 561,855 \text{ (circa le 17 dell'8 settembre)}$$

$$34\ 740\text{mo minimo} = 2\ 460\ 562,63$$

$$34\ 741\text{mo minimo} = 2\ 460\ 563,4$$

e quest'ultimo finalmente soddisfa alle esigenze. Perciò il 10 settembre un massimo cadrà poco dopo le 21h TU e sarà necessario porsi all'osservazione alle 21 in modo da seguire una parte del ramo discendente della curva di luce. Sarà inoltre indispensabile proseguire l'osservazione anche dopo il minimo calcolato in modo da seguire una parte del ramo ascendente e permettere l'applicazione di metodi geometrici o analitici per determinare l'istante di minimo osservato.

Tra il valore osservato (O) e quello previsto (C) può esistere una differenza qualora gli elementi (data iniziale e periodo) non siano noti con precisione oppure in presenza di loro variazioni casuali o siste-

Sirius A e Sirius B (indicato dalla freccia) ripresi dal Telescopio Spaziale Hubble. (NASA, ESA, H. Bond - STScI, and M. Barstow - University of Leicester)

matiche. In realtà il valore O va corretto per il tempo impiegato dalla luce, che è giunta a noi dalla stella, per giungere fino al Sole (correzione eliocentrica).

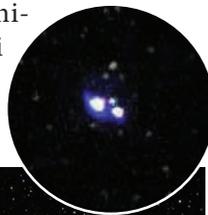
Il tempo eliocentrico (TE) si ricava dalla formula:

$$TE = O - 0,00577 \cdot [\sin\delta_s \sin\delta + \cos\delta_s \cos\delta \cos(AR - AR_s)]$$

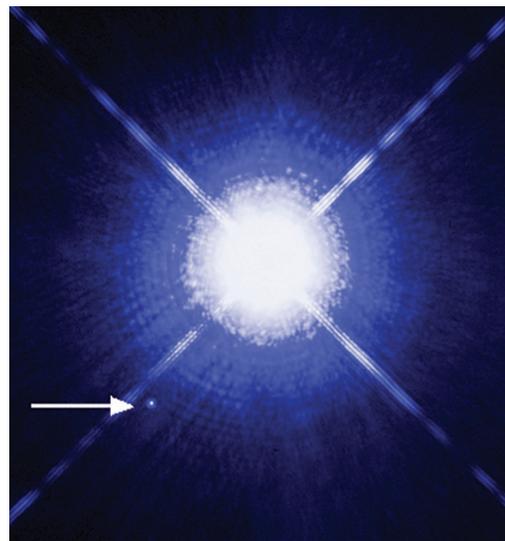
dove il pedice S si riferisce al Sole nel giorno considerato, mentre gli altri sono propri della stella variabile.

STELLE DOPPIE

Le stelle che osserviamo sono molto frequentemente sistemi multipli, costituiti cioè da due, tre o più stelle orbitanti di conserta attorno a un unico baricentro. Alcuni sistemi sono così vicini a noi e le componenti



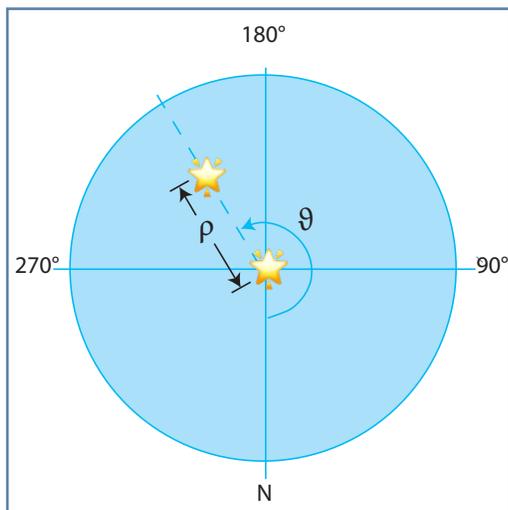
Fotografia scattata dall'astronauta Donald R. Pettit, ufficiale scientifico dell' Expedition 6 dell'International Space Station (ISS) della NASA. Nell'angolo in alto a destra il sistema binario formato da Alcor e Mizar.



tanto distanti da poter essere viste separate a occhio nudo, come nel caso di Alcor e Mizar (ζ Ursae Majoris, v. Fig. 18) o con un binocolo come ϵ Lyrae.

Molto spesso è necessario un buon telescopio e un elevato ingrandimento (2D) per separare una doppia, ma nella maggior parte dei casi noti le componenti sono così vicine che si osserva una sola stella. Se ne scopre la duplicità quando presenta variabilità del tipo a eclisse oppure con l'osservazione spettroscopica (binarie spettroscopiche).

Le doppie visuali mostrano il loro moto orbitale se osservate con costanza durante anni. In pratica è necessario usare una camera digitale per misurare la distanza tra le componenti e l'angolo di posizione (fig. 85) e ripetere l'osservazione ogni anno, per anni.



GALASSIE

Si ricorderà che le galassie sono enormemente distanti dalla Terra. Di conseguenza le singole stelle che le compongono saranno accessibili solo a strumenti di ragguardevoli dimensioni usati fotograficamente e risulteranno visibili solo le stelle più luminose (giganti). Per esempio, nel caso della galassia di Andromeda (M31) è necessario almeno un 400 mm

per cercare di cogliere almeno qualche gigante blu.

La denominazione delle galassie, a parte pochi casi (girandola, ruota di carro, sombrero) è costituita da sigle letterali e numeriche con riferimento ad alcuni cataloghi. Per esempio, la lettera M identifica il catalogo di Messier che nel 1774 elencò un centinaio di oggetti fra i quali ci sono, oltre ad ammassi aperti e globulari, alcune galassie (per es. M31). Il catalogo NGC (New General Catalogue) fu compilato da Dreyer sulla base delle osservazioni degli Herschel, padre e figlio: in questo catalogo M31 è denominata NGC 224. C'è oltre una dozzina di cataloghi di galassie, l'osservatore interessato troverà in Internet quello che lo soddisfa di più.

L'osservazione visuale è quasi sempre deludente poiché non si riesce a scorgere che una indefinita e leggerissima luminescenza. Il binocolo è ancora molto prezioso nel caso delle galassie più vicine. In alcuni rarissimi casi (M 51) si percepisce

Fig. 85. Parametri da misurare nello studio di una stella doppia: la separazione ρ in secondi d'arco e l'angolo di posizione θ in gradi misurato da Nord verso Est nel campo rovesciato di un telescopio astronomico.

Un panorama delle stelle in primo piano e del nucleo della Galassia di Andromeda. (ESA/Hubble)



La galassia NGC 5468, situata a circa 130 milioni di anni luce dalla Terra, in una ripresa nella quale sono stati combinati i dati dei telescopi spaziali Hubble e James Webb. Questa è la galassia più lontana in cui Hubble ha identificato le stelle variabili Cefeidi. Questi sono importanti indicatori fondamentali per misurare il tasso di espansione dell'Universo. (Webb NIRCam + Hubble WFC3)

◦ Tale prestazione sarebbe già possibile con una macchina fotografica digitale, come dimostra il calcolo seguente. La magnitudine limite di una tale macchina è circa 13 (magnitudine apparente). Poiché una supernova di tipo 1 al massimo ha $M = -18$, la si può scorgere alla distanza d :

$$m - M = 13 - (-18) = 31 = -5 + 5 \log d$$

$$\log d = 36 / 5 = 7,2$$

$$d = 10^{7,2} = 15\,000\,000 \text{ parsec} = 49\,000\,000 \text{ anni luce}$$

L'Universo è veramente immenso ma le realizzazioni che l'uomo ha escogitato costituiscono potentissimi utensili per studiarne la struttura e la composizione.



visualmente un indizio di struttura a spirale, a patto di usare uno strumento di almeno 150 mm di diametro.

La fotografia è invece soddisfacente già usando piccoli teleobiettivi sulle galassie vicine (Andromeda, M 33) o telescopi

medi sulle galassie di distanza più elevata. Con questi strumenti e una camera elettronica è possibile scoprire una supernova nelle galassie accessibili, confrontando fra loro immagini riprese in tempi differenti. ◦

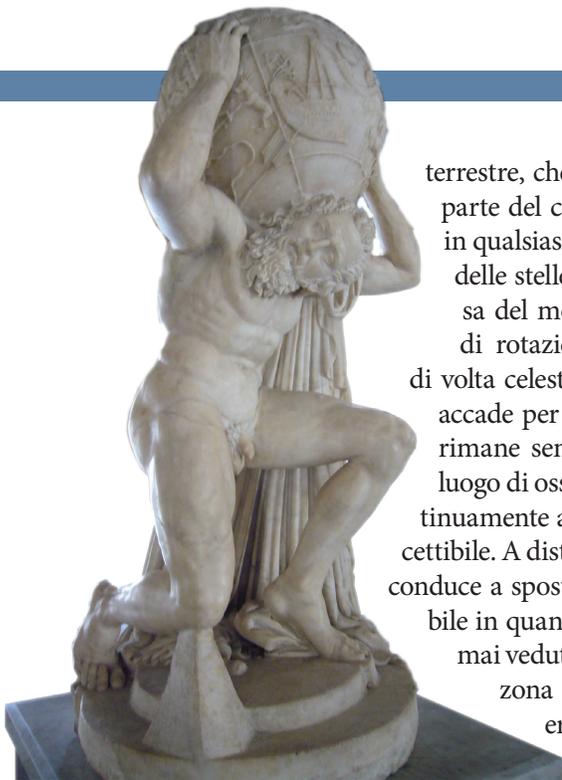
LE COSTELLAZIONI

ORIGINE

I diversi popoli apparsi sulla Terra, a seconda delle epoche, hanno raggruppato le stelle visibili a occhio nudo in maniera diversa. Per esempio, il cielo interpretato dagli Egizi è differente da come lo hanno interpretato i cinesi oppure gli indiani d'America. È certo, però, che la necessità di descrivere la volta celeste nei suoi aspetti costanti, ma mutevoli di stagione in stagione, è stata chiaramente avvertita in ogni epoca e presso tutti i popoli. Nei vari periodi storici il modo migliore di descrivere l'insieme delle stelle osservabili è sembrato quello di associare ai diversi gruppi differenti forme geometriche le quali potevano sottintendere figure fisiche o leggendarie. Le attuali costellazioni di Cefeo, Cassiopea, Andromeda, Perseo e Pegaso, per esempio, sono vicine tra loro nel cielo e risultano legate nel mito che le riguarda che, come si vedrà più avanti, abbiamo ereditato da una gloriosa civiltà mediterranea.

La sicurezza con cui ci riferiamo alle fonti dell'attuale suddivisione del cielo in costellazioni è tale che si è perfino cercato di precisare il tempo e il luogo nel quale è stato eseguito il lavoro di suddivisione di esso. Il metodo di ricerca e i risultati raggiunti costituiscono un meraviglioso esempio dell'uso dell'ingegno umano, capace di sondare le profondità del passato anche in assenza di precise tracce scritte.

È noto che l'attuale insieme di costellazioni deriva sostanzialmente dall'*Uranometria* che Bayer pubblicò nel 1603. Oltre a inventare un certo numero di nuove costellazioni in regioni di cielo modestamente popolate di stelle, Bayer utilizzò quali fonti di ispirazione manoscritti dell'XI secolo che erano, a loro volta, trascrizioni di opere classiche antiche. Tra le opere principali la *Syntaxis* di Tolomeo, il quale aveva in realtà ripreso le idee di Ipparco, l'acuto scopritore del moto di precessione dell'asse terrestre. Anche Ipparco però non aveva fatto tutto da solo: *"noi stiamo ritti sulle spalle di coloro che ci hanno preceduti"* suona un saggio detto che si riferisce all'uso corretto delle acquisizioni del passato. La storia della scoperta del moto di precessione ne è una riconferma. Ipparco aveva infatti confrontato le proprie osservazioni con quelle di Eudosso di Cnido della cui "sfera celeste" (sorretta dall'Atlante Farnese al MANN) aveva studiato la descrizione fatta da Arato nel poema *Phaenomena*. Dal confronto erano emerse alcune anomalie: da un lato vi erano stelle nella descrizione di Eudosso che Ipparco non era in grado di osservare e dall'altra mancavano, nella sfera di Eudosso, stelle che Ipparco osservava con grande evidenza. Non poteva certo trattarsi di incongruenze dovute a errori di osservazione! In uno dei capitoli precedenti abbiamo visto come da un punto qualsiasi della superficie



Qui sopra. Statua di Atlante (sec II d.C.). Già nella Collezione Farnese, oggi al Museo Archeologico Nazionale di Napoli.

Il bassorilievo egizio con lo zodiaco realizzato per Tempio di Hathor a Dendera. Oggi l'originale è conservato al Museo del Louvre, a Parigi, sono però state realizzate delle riproduzioni, come quella proposta qui a lato, conservata al Neues Museum di Berlino.



terrestre, che non si trovi sull'equatore, parte del cielo sfugge all'osservazione in qualsiasi periodo dell'anno: si tratta delle stelle anti-circumpolari. A causa del moto di precessione dell'asse di rotazione della Terra tale parte di volta celeste (come, simmetricamente accade per le stelle circumpolari) non rimane sempre la stessa per un dato luogo di osservazione, ma cambia continuamente anche se in maniera impercettibile. A distanza di secoli, però, il moto conduce a spostamenti di entità apprezzabile in quanto svela stelle fino ad allora mai vedute, mentre fa piombare nella zona anticircumpolare stelle che erano risultate osservabili nel passato.

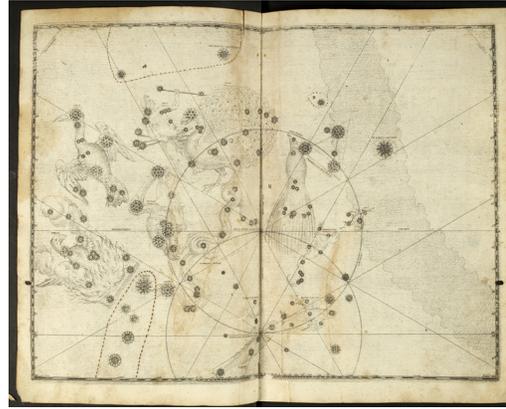
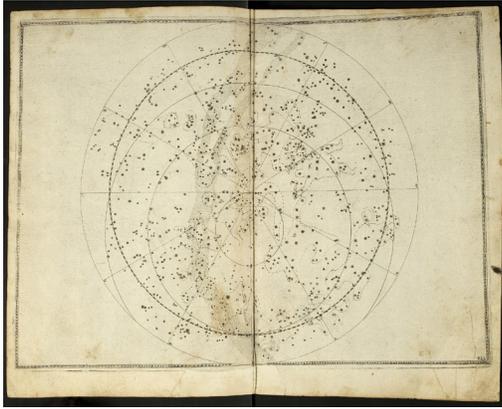
L'estensione della calotta di stelle anti-circumpolari è in diretta relazione con la latitudine del luogo di osservazione mentre

la sua posizione sulla sfera celeste dipende dall'epoca di osservazione. Con ottima approssimazione si può dedurre che la sfera di Eudosso sia stata tracciata da osservatori posti alla latitudine nord di 35° in un'epoca compresa tra 2000 e 2500 anni a.C.

Quali popolazioni compirono l'opera di suddivisione, di lettura del cielo che è giunta fino a noi e a quale scopo tale opera fu commissionata? Nell'epoca indicata e nella fascia di latitudine intorno a 35° conobbero uno splendido sviluppo civiltà come quelle Mesopotamica, Fenicia e Minoica. È quest'ultima che sembra in grado di far combaciare tutte le tessere del mosaico pazientemente ricostruito: è da Creta che sembra provenire la sfera che Eudosso studiò e descrisse con tanta accuratezza. Tracciata per consentire il computo delle stagioni presso questo popolo di agricoltori, navigatori e commercianti, probabilmente la sfera è una delle poche cose che restarono intatte dopo il catastrofico maremoto che, attorno al 1600 a.C. cancellò la splendida civiltà minoica dalla faccia della Terra. A questa catastrofe sopravvissero le leggende di una grande civiltà, tragicamente inghiottita dalle acque (Atlantide) e delle costellazioni che ancora oggi popolano il cielo pressoché immutate da quei tempi lontani.

LA MITOLOGIA DELLE COSTELLAZIONI

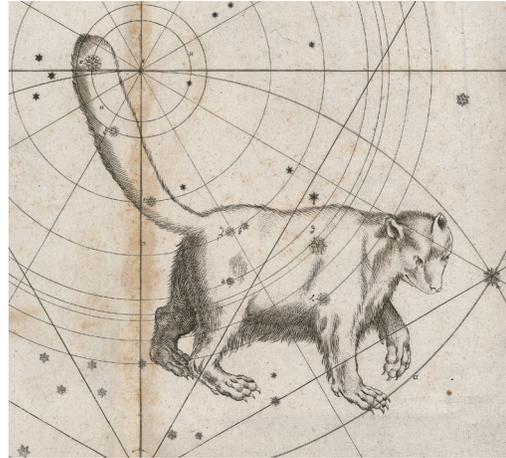
L'insieme dei miti relativi alle costellazioni, così come ci sono giunti attraverso le culture greca e romana, ha un logico filo conduttore negli amori del dio Zeus per alcuni esseri umani. Dei frutti di questo



Due tavole dell'*Uranometria* di Bayer. Il cielo settentrionale (a sinistra) e quello australe (qui a lato).

amore ha voluto ripieno il cielo questo meraviglioso popolo minoico, la cui terra ubertosa circondata da un mare pescoso doveva apparire un chiaro segno di quanto gli dei amassero gli uomini. Impegnato nell'agricoltura, nella pesca, nel commercio di quanto all'epoca poteva essere prodotto e commerciato, questo piccolo popolo ha eretto nel cielo un monumento perenne, inno di lode alla divinità che ha ricolmato la Terra dei frutti del suo amore.

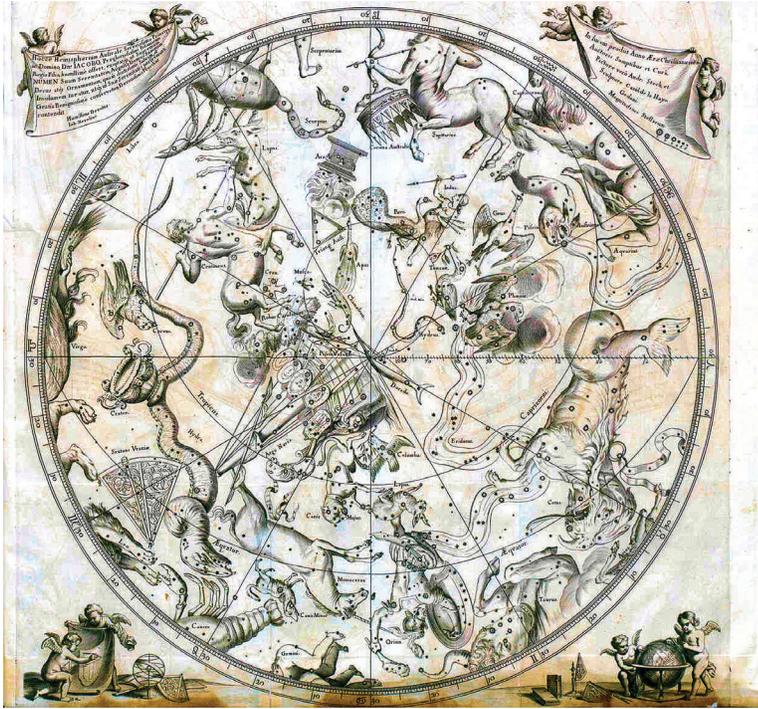
Nella regione polare della sfera celeste l'Orsa Minore e l'Orsa Maggiore ricordano l'amore di Zeus per Callisto, ancella di Artemide (Diana dei romani). Dalla relazione nasce Arcade, che sarà il progenitore della stirpe degli Arcadi, che suscita le ire di Artemide (che voleva ancelle vergini) che denuncia Zeus presso sua moglie Era (Giunone). Questa, che come si vedrà ha un carattere molto irascibile, si vendica prontamente trasformando Callisto in un'orsa. Arcade cresce e, diventato adulto, durante una battuta di caccia sta per scoccare una



L'Orsa Minore nell'*Uranometria* di Bayer.

freccia verso la madre: Zeus, per impedire il matricidio, tramuta madre e figlio in orsi e li pone entrambi in cielo.

Vicina alle Orse si trova la costellazione di Cassiopea. È questa la moglie di Cefeo, re dell'Etiopia, donna così vanitosa da osare di affermare che la propria figlia, Andromeda, è più bella delle ninfe marine chiamate Nereidi. Poseidone (Nettuno), irato per l'offesa recata a divinità marine, scate-



L'emisfero australe
nell'*Uranographia* di
Johannes Hevelius.

na contro l'Etiopia la furia del mare e di un gigantesco serpente. Per salvare la sua terra da tali calamità Cefeo, su consiglio dell'oracolo di Ammone, offre la figlia Andromeda al mare, incatenandola a uno scoglio.

In una vicenda che si svolge parallelamente, Perseo, figlio di Zeus e Danae, viene spinto da Polidette a dimostrare il proprio coraggio uccidendo una delle Gorgoni, Medusa, colei che pietrificava chiunque incrociasse il suo sguardo. Sono di aiuto nell'impresa Hermes (Mercurio) e Atena (Minerva) che forniscono scarpe alate, un mantello che garantisce l'invisibilità e una bisaccia dove riporre la testa della vittima. Cogliendo le Gorgoni nel sonno, Perseo taglia la testa di

Medusa: dal sangue che sgorga dalla ferita nasce il cavallo alato Pegaso sul quale Perseo fugge. Durante il volo di ritorno egli scorge Andromeda incatenata allo scoglio e non esita a rivolgersi verso il serpente marino lo sguardo pietrificante di Medusa, liberando così la ragazza che gli verrà data in sposa.

Un'altra costellazione circumpolare, il Drago, ci introduce al mito di Ercole, famoso per la forza straordinaria e le dodici fatiche. Figlio di Zeus e Alcmena, Ercole rivela fin da neonato eccezionali doti fisiche strangolando due serpenti che la gelosissima Era aveva mandato a ucciderlo. Fallito questo tentativo Era non si rassegna, ma tormenta continuamente Ercole finché questi, ormai adulto e sposato, impazzisce: in preda alla follia uccide la moglie e i tre figli. Condannato da Euristeo, re di Argo, a riabilitarsi portando a compimento dodici imprese che sarebbero risultate impossibili a qualunque essere umano, Ercole si copre di gloria. Strangola il Leone di Nemea, uccide l'Idra di Lerna tagliandole le tre teste, cattura la cerva cerinitica e il cinghiale di Erimanto che porta ancora vivo a Euristeo. In seguito uccide con arco e frecce gli uccelli carnivori della palude di Stinfalo, pulisce le stalle di Augia con le acque del fiume Alfeo e cattura il Toro di Creta. Quindi doma le cavalle di Diomede, uccide Ippolita, la regina delle Amazzoni, cattura la mandria di Gerione e alla fine si impadronisce delle mele d'oro, custodite nel giardino delle Esperidi, uccidendo il Drago che ne era il guardiano. Durante quest'ultima impresa, durata diversi

anni, ha modo di salvare Prometeo uccidendo l'Aquila che ne mangiava il fegato. Per amare Leda Zeus si trasforma in Cigno. Nello stesso giorno Leda fa l'amore col marito, Tindaro. Nascono due coppie di Gemelli: Elena e Polluce, che sono dei, Castore e Clitennestra che sono umani. Da adulti, Castore e Polluce prendono parte all'eroica spedizione guidata da Giasone e diretta alla conquista del Vello d'oro. Giasone, che era stato allevato dal Centauro Chirone, per la sua impresa si serve della Nave Argo e di un gruppo di amici, gli Argonauti, tra i quali ricordiamo Orfeo che con il suono della sua Lira allietava le lunghe ore del viaggio. Tutti questi nomi si ritroveranno in cielo. Il cacciatore Orione, al quale sono sempre vicini i fedeli Cani (Maggiore e Minore), è così pieno di sé da sfidare Artemide alla caccia: questa, pur di non consentirgli la vittoria, lo fa pungere a morte da uno Scorpione. Presa da pentimento, la dea li trasforma entrambi in costellazioni ma li pone in parti opposte del cielo, in modo che lo Scorpione non possa più insidiare Orione.

LE COSTELLAZIONI OGGI

Le costellazioni legate alla mitologia minoica e greca erano gruppi di stelle formanti figure geometriche, asterismi facilmente riconoscibili. Le stelle più brillanti avevano ricevuto un nome proprio in quell'epoca e lo stesso sarà fatto successivamente da parte degli arabi durante il medioevo. Molte stelle deboli e tuttavia visibili a occhio nudo rimanevano però escluse, tanto che nel XVII secolo Hevelius e Bayer inventa-



rono un certo numero di nuove, ma deboli, costellazioni completando il cielo fino al Polo Sud. Bayer impostò la denominazione delle principali stelle di una costellazione facendo uso dell'alfabeto greco e dopo di lui Flamsteed impose per tutte le stelle visibili una numerazione progressiva in ordine di ascensione retta. Oggi il numero di stelle accessibili è diventato così grande che questi metodi hanno solo interesse storico: si identifica una stella tramite le sue coordinate in una precisa epoca o eventualmente tramite la numerazione di un particolare catalogo (HD, BD ecc.). Le stelle variabili sono denominate con lettere maiuscole a partire da R, S ecc. per poi raddoppiarle

L'Emisfero boreale
nell'*Uranographia* di
Johannes Hevelius.

ricominciando da RR, RS, ..., RZ, SS, ..., SZ, e così via. Ma il numero di variabili conosciute è in continuo aumento così che prima si riprese a denominarle da AA, AB ecc. e poi, superato il numero di 334 stelle numerabili in questo modo, si passò a una nomenclatura del tipo V335, V336 ecc. In ogni caso il nome di una stella, variabile o no, è seguito dal genitivo della costellazione: RR Lyrae, V335 Sagittarii e così via.

In questo capitolo verranno sommariamente descritte le principali tra le 88 costellazioni in cui, nel 1930, su suggerimento dell'astronomo belga Eugène Joseph Delporte, l'Unione Astronomica Internazionale ha suddiviso il cielo, delimitando le aree assegnate a ciascuna costellazione mediante archi di ascensione retta e declinazione. Le carte dell'atlante stellare che completa il libro integrano la descrizione allo scopo di permettere un facile riconoscimento delle varie stelle. Inoltre nelle carte appaiono i principali corpi celesti non stellari (ammassi stellari, nebulose, galassie ecc.) accessibili a piccoli strumenti o fotografabili con mezzi modesti. Le caratteristiche di questi e di stelle particolari come "variabili" o "doppie" sono riportate su Wikipedia per ammassi, galassie ecc.

LE COSTELLAZIONI CIRCUMPOLARI NORD

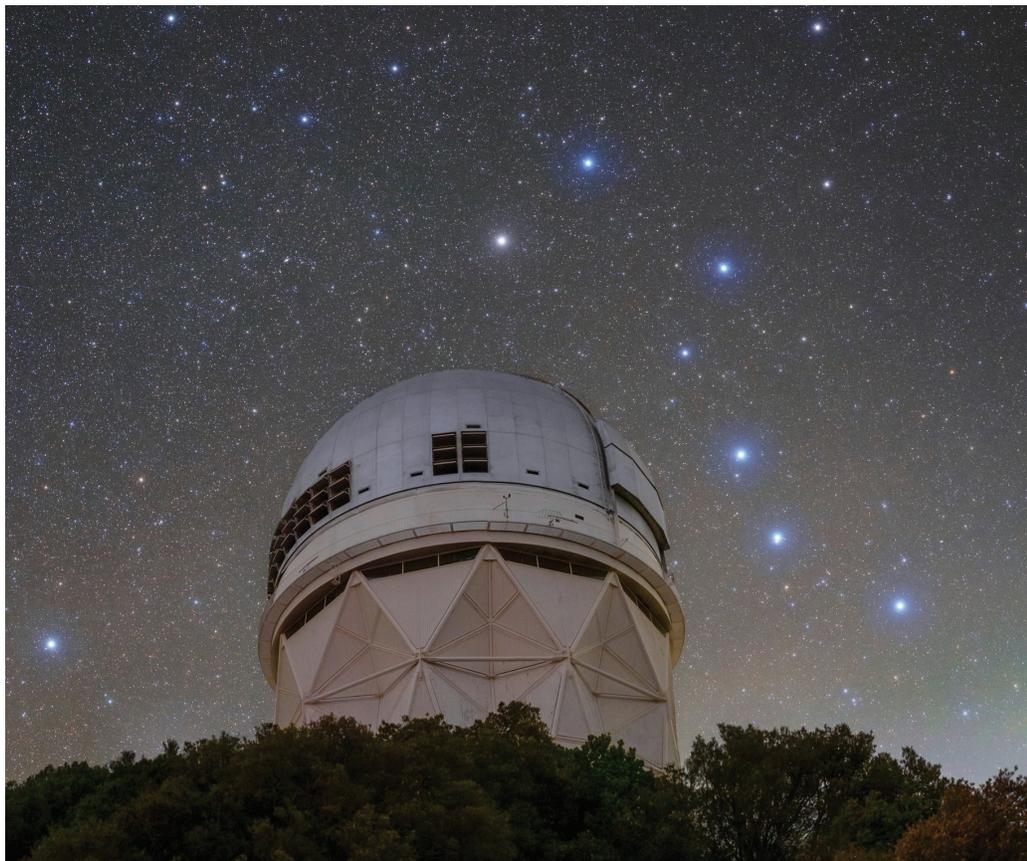
Orsa Maggiore e una grande costellazione, facile da riconoscere, nella quale spicca un trapezio (Grande Carro) formato dalle stelle α , β , γ e δ al quale è unita una terna di stelle (ϵ , ζ e η): il timone. La posizione della costellazione

durante l'anno è stata già descritta (*pag. 30*). La linea da β a α prolungata verso il Polo permette di individuare la stella Polare. La regione è molto ricca di galassie e ζ UMa è una famosa doppia (Alcor e Mizar) separabile a occhio nudo; Mizar è inoltre doppia telescopica.

Orsa Minore è una piccola costellazione formata da stelle deboli. Come detto, con l'aiuto dell'Orsa Maggiore si trova la stella α UMi (Polare) che in questo secolo si trova vicina al Polo Nord Celeste. Quattro stelle dell'Orsa Minore (β , γ , η , ζ) sono disposte a formare un rettangolo (Piccolo Carro). Due di queste, β e ζ assieme ad altre due, ϵ , δ , che con la Polare formano il timone, sono disposte su una curva lungo la quale sono intervallate regolarmente.

Prolungando oltre la stella Polare una linea che parte da ϵ UMa, in posizione diametralmente opposta si trova γ Cas la centrale di 5 stelle (β , α , γ , δ , ϵ) che compongono la M (o W) di Cassiopea. β Cas è molto vicina al meridiano celeste di AR 0h. La regione è interessata dalla Via Lattea ed è perciò ricca di ammassi, nebulose e stelle variabili. Partendo da α Cas e proseguendo in direzione di β Cas, a una distanza pari a 4 volte la loro separazione, si incontra α Cep. Questa stella è lo spigolo destro, in basso, di un quadrato sormontato da un triangolo formati da altre stelle (una casa stilizzata). Pur essendo costituita da stelle deboli, la costellazione di Cefeo ha una forma di facile memorizzazione. Tra alcune interessanti variabili spicca δ Cep, prototipo dell'omonimo gruppo di variabili.

La regione oltre Cefeo e fino al timone



La costellazione dell'Orsa Maggiore (le sette stelle luminose a destra) ripresa sopra il telescopio da 4 metri Nicholas U. Mayall presso l'Osservatorio nazionale di Kitt Peak (KPNO). A sinistra splende la Stella Polare. Le stelle dell'asterismo dell'Orsa Maggiore sono notevoli anche da sole. La seconda stella del temone è Mizar, insieme alla sua stella compagna più debole Alcor. (KPNO/NOIRLab/NSF/AURA/T. Slovinsky)



dell'Orsa Maggiore appartiene alla costellazione del Drago che si insinua fra le due Orse: a eccezione della testa del Drago, un quadrilatero irregolare parallelo al Piccolo Carro e da questo distante 30° circa (più di una spanna aperta alla distanza del braccio teso), le altre deboli stelle sono visibili solo con grande attenzione e se il cielo è molto scuro.

Nella porzione di cielo diametralmente opposta al Drago rispetto al Polo si trova un'altra debolissima costellazione, la Gi-

La costellazione del Drago nell'*Uranographia* di Johannes Hevelius.

Un'immagine composita della galassia a spirale M51, conosciuta anche come Galassia Vortice realizzata dal Chandra X-ray Observatory sommando dati di telescopi Hubble (verde) e Spitzer (rosso). (Smithsonian Institution @ Flickr Commons)

raffa. Tra quest'ultima e l'Orsa Maggiore, la Lince chiude il gruppo delle costellazioni circumpolari per luoghi di osservazione compresi tra $+40^\circ$ e $+50^\circ$ di latitudine.

COSTELLAZIONI PRIMAVERILI

Quando, verso la metà di aprile, il clima è sufficientemente mite da poter trascorrere qualche ora all'aperto dopo il tramonto, l'Orsa Maggiore è alta verso lo Zenit di un qualsiasi luogo dell'Europa e costituisce un'ottima guida per identificare le principali costellazioni primaverili.

Prolungando la curva che unisce le stelle del timone ϵ , ζ e η UMa, a 30° circa dall'ultima si incontra una brillante stella arancione: Arturo, della costellazione del Boote. Da questa stella di prima grandezza inizia un'irregolare losanga di stelle più deboli, diretta all'incirca verso il Polo, che fa assumere all'insieme la forma di un aquilone.

Continuando la curva del timone dell'Orsa oltre Arturo, dopo altri 30° circa si incontra una brillante stella azzurrina: Spica, della costellazione della Vergine. Spica è il piede di una grande Y, ampia in totale più del Boote, anche se formata da stelle più deboli.

A Sud della Vergine vi sono due piccole costellazioni Corvo e Cratere, e una estesissima, l'Idra, tutte costituite da stelle deboli.

Ritornando all'Orsa Maggiore e prolungando verso Sud la linea formata da δ e γ , a più di 40° (due spanne alla distanza del braccio teso) si individua Regolo, la stella azzurrina più brillante della costellazione del Leone. Regolo è come il punto di un “?” rovesciato che forma la criniera dell'animale. Circa alla stessa de-



clinazione, verso sinistra, vi è un triangolo di stelle che forma le terga del Leone.

Tra il Leone e il Boote si trova una debole costellazione, la Chioma di Berenice che, oltre a un ammasso stellare molto ampio perché a noi vicino, contiene un enorme ammasso di galassie per la cui osservazione sono però necessari strumenti di diametro superiore ai 100 mm.

Fra la Chioma di Berenice e il timone dell'Orsa Maggiore è visibile la costellazione dei Cani da Caccia, nella quale si trova una delle più belle galassie visibili con modesti strumenti: M51, dalla forma di girandola.

Nei pressi del Polo Sud tre grandi costella-

zioni formate da stelle molto brillanti arricchiscono la Via Lattea: il Centauro, la Croce del Sud, che con il suo asse maggiore indica il Polo Sud Celeste (distante circa 25°, una spanna), e il Vascello. Solo della prima, alla latitudine dell'Europa, si può avere una visione parziale. Altre costellazioni minori sono: il Lupo, la Macchina Pneumatica e la Bussola, visibili alle nostre latitudini, e Compasso, Mosca e Camaleonte tutte anti-circumpolari per noi.

Verso la fine di giugno il cielo diventa scuro solo attorno alle ore 23 di tempo legale (22 solari). L'Orsa Maggiore si trova alla sinistra del Polo Nord Celeste, all'incirca alla stessa altezza sull'orizzonte: il suo timone è rivolto a Sud e il Leone sta tramontando. Non lontano dallo Zenit spicca una stella azzurrina molto brillante: Vega della costellazione della Lira. Le altre Stelle formano una piccola losanga di circa 5° di altezza (la larghezza di due dita affiancate alla distanza del braccio teso). Tra le due stelle più brillanti della losanga (β e γ) uno strumento di medie dimensioni usato a circa 100X mostrerà un anello di luce: la Nebulosa Planetaria della Lira.

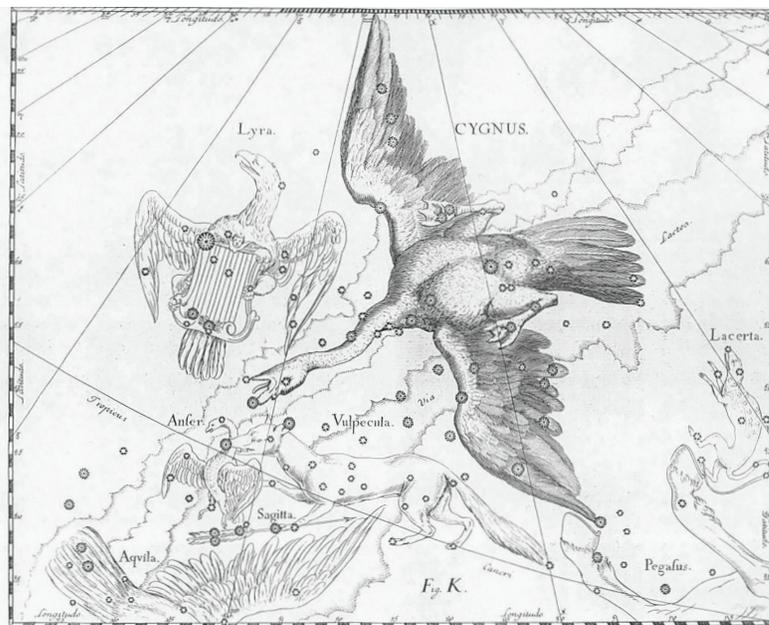
Nella regione compresa tra il Boote e la Lira si trovano due interessanti costellazioni. Quella più vicina al Boote ha la forma di una coroncina, il nome di Corona Boreale e la sua Stella più brillante si chiama Gemma. Quella vicina alla Lira è costituita da un trapezio rettangolo (il tronco) dal quale si dipartono quattro file di stelle (gli arti): è la costellazione di Ercole. Vicino alla stel-

la η , poco più di due gradi (un dito) verso Sud, una macchiolina luminosa si rivela un nugolo di stelle. Se osservato con uno strumento di media potenza e D ingrandimenti si rivela essere l'ammasso globulare M 13.

Nella regione orientale rispetto alla Lira, alla stessa declinazione, risulta ben visibile la grande croce del Cigno. La coda dell'uccello è costituita dalla bianca Deneb, di prima grandezza, mentre la testa è individuata da Albireo, una facile doppia le cui componenti al telescopio mostrano colore diverso, una gialla e l'altra azzurra.

30° a Sud del Cigno una croce grossolana distingue l'Aquila, la stella più a Nord essendo di prima grandezza, la bianca Altair. Vega, Deneb e Altair costituiscono un cospicuo triangolo, facilmente identificabile per tutta l'estate e per buona parte dell'autunno.

La costellazione del Cigno nell'*Uranographia* di Johannes Hevelius.



Tra il Cigno e l'Aquila si trovano le tre deboli costellazioni Volpetta, Freccia e Delfino. Queste ultime due, pur costituite da stelle deboli, ricordano così perfettamente i loro nomi da essere inconfondibili.

Sotto Ercole si trova una grande costellazione di difficile identificazione essendo formata da stelle deboli: Ofiuco, accompagnato dalla testa e dalla coda del Serpente. A oriente di queste si trova ancora una debole costellazione, lo Scudo (di Sobiesky).

A declinazione circa -20° , quindi a modesta altezza sull'orizzonte per l'Europa, si possono scorgere quattro costellazioni dello Zodiaco. Dopo la debole Bilancia, già passata oltre il meridiano, la costellazione dello Scorpione spicca per la sua forma che ricorda veramente il soggetto, la coda ricurva pronta alla puntura. Sfortunatamente da luoghi più a Nord di 45° essa non è più visibile completamente, mentre resta cospicua la rossa Antares fiancheggiata da due stelline identiche.

Segue verso Est il Sagittario, le cui stelle più brillanti costruiscono l'inconfondibile sagoma di una teiera. I dintorni sono costituiti dalla regione più ricca della Via Lattea: in questo caso si osserva proprio verso il centro della nostra Galassia. Numerosissimi gli ammassi e le nebulose gassose, luminose o oscure: la visione con un binocolo o uno strumento a grande campo è veramente suggestiva.

Sorge a tarda sera la costellazione del Capricorno, un gruppo di deboli stelle che formano un ampio scudo, mentre, sotto l'orizzonte per l'Europa, restano deboli costellazioni come Ara, Telescopio, Triangolo Australe, Pavone, Uccello del Paradiso e Ottante. Lupo e Coro-

na Australe sono infine due deboli costellazioni che si possono scorgere, parzialmente, in condizioni di cielo limpido su un orizzonte marino.

COSTELLAZIONI AUTUNNALI

Se non si rendessero visibili il triangolo estivo (Vega, Deneb e Altair) e qualche brillante stella del cielo invernale (Capella e Aldebaran per prime), il cielo osservabile all'inizio dell'autunno non desterebbe un grande entusiasmo. L'Orsa Maggiore è coricata sull'orizzonte.

Il grande quadrilatero del Pegaso, con i suoi lati di circa 15° , campeggia verso Sud prima del meridiano: è identificabile la stella α Peg all'intersezione della linea che viene da γ e α Cas e di quella costituita dal braccio orizzontale della croce del Cigno. La stella che forma il vertice opposto ad α Peg è anch'essa α , però della costellazione attigua: Andromeda. Si ripropone un'altra situazione di carro (Pegaso) e timone (Andromeda). La stella β And è la centrale delle tre che formano il timone. Una linea perpendicolare a questo, passante per β And e diretta a Nord incontra due stelline: accanto alla seconda, già l'occhio disarmato coglie una macchia luminosa non stellare. Un binocolo rivela una cospicua luminescenza di forma allungata. È la galassia di Andromeda, quasi una replica della Via Lattea in fatto di dimensioni, distante dalla Terra circa 2 500 000 anni-luce.

A Sud di Andromeda, dopo il Triangolo, si trova l'Ariete: finalmente il famoso punto d'Ariete, si dirà. Invece, a causa della precessione, il punto d'Ariete si trova attualmente nella costellazione dei Pesci, adiacente, grande e for-



Questa straordinaria immagine è stata realizzata sopra uno dei quattro telescopi unitari (UT) del Very Large Telescope (VLT) in Cile. Nella parte sinistra dell'immagine si vede Messier 31, la Galassia di Andromeda. In alto e a destra di questa macchia c'è una stella luminosa, che a sua volta punta verso l'alto verso una galassia che si trova all'incirca lungo la stessa linea estesa. Questa stella si chiama Beta Andromedae, altrimenti nota come Mirach, e la seconda galassia è Messier 33 (nella parte superiore dell'inquadratura). Si pensa che queste due galassie abbiano interagito in passato, formando un ponte di idrogeno gassoso che colma lo spazio tra loro. (ESO/B. Tafreshi (twanight.org))

mata da stelle deboli. Tra questa e il Capricorno non è facile cogliere un'altra costellazione dello Zodiaco, l'Acquario.

Sotto i Pesci, vicino al vertice di quella grande V, la Balena propone Mira Ceti, il prototipo delle variabili regolari a lungo periodo. Da un massimo che la porta a brillare come una stella di seconda grandezza, o Cet (altro nome di Mira) scende in 200 giorni circa alla

magnitudine 10, rivelabile solo con almeno un rifrattore da 60 mm, per poi riguadagnare in 100 giorni la magnitudine 2.

Microscopio, Pesce Australe con Fomalhaut, Scultore e Fornace sono deboli costellazioni che non si alzano mai molto sull'orizzonte. Parzialmente osservabili Gru e Fenice, mentre restano sempre sotto gli orizzonti europei l'Indiano, il Tucano,

l'Orologio e l'Idro, dove sarebbe osservabile la Piccola Nube di Magellano. Osservata con uno strumento di media potenza dagli abitanti dell'emisfero Sud, questa si risolve in miriadi di stelle: si tratta di una galassia nana, satellite della Via Lattea.

360 gradi di Via Lattea nel cielo notturno sopra Paranal, sede del Very Large Telescope dell'ESO. Questa immagine è stata composta da 37 foto singole con un tempo di esposizione totale di circa 30 minuti, scattate durante le ore del mattino. A destra sotto l'arco della Via Lattea, si possono vedere la Piccola e la Grande Nube di Magellano. (ESO/H.H. Heyer)

COSTELLAZIONI INVERNALI

Il cielo osservabile in questa stagione è trappuntato di una decina di stelle di prima grandezza ed è ricco di costellazioni veramente cospicue. L'Orsa Maggiore è alla destra del Polo e il timone è rivolto verso il basso. Verso le 21h solari, all'inizio dell'anno, la grande costellazione di Orione ha compiuto circa un terzo del suo cammino sulla volta celeste ed è facilmente identificabile, guardando verso Sud-Est, cioè alla sinistra del meridiano. È formata da un grande quadrilatero, alto 20° e largo 10°, due spigoli del quale sono costituiti da

stelle di prima grandezza: la rossa Betelgeuse, in alto a sinistra, e l'azzurra Rigel, in basso a destra. Al centro del rettangolo vi è una terna di stelle quasi identiche e allineate, a costituire la cintura del cacciatore, dalla quale pende un grappolo di stelle (la spada) la centrale delle quali rivela già all'osservazione binoculare la sua natura non stellare. Un piccolo telescopio mostra una nubecola luminescente la cui struttura filamentosa risulta ben osservabile con un telescopio di media potenza. Fotograficamente è uno dei corpi celesti che danno maggiore soddisfazione.

Orione è un'ottima guida per riconoscere tutte le principali costellazioni invernali.

Prolungando verso sinistra (in basso) la linea formata dalla cintura, si incontra la stella più luminosa del cielo, la bianca Sirio della costellazione del Cane Maggiore. Prolungata in senso opposto la stessa linea conduce nei pressi



di Aldebaran, l'arancione stella principale del Toro. Accanto a questa vi è il largo (e vicino) ammasso aperto delle Iadi e un po' più in là, sempre nella stessa direzione, si trova l'ammasso aperto delle Pleiadi.

Prolungando verso l'alto la linea che unisce Rigel a Bellatrix (angolo destro-alto) si individua Capella, stella di prima grandezza della costellazione dell'Auriga. Questa costellazione ha la forma di un pentagono alquanto deformato e, trovandosi sulla Via Lattea, è molto ricca di ammassi stellari e nebulose.

A occidente dell'Auriga, guardando verso Nord, si osserva la Y del Perseo. In cima al ramo sinistro si trova la variabile Algol (testa del demonio) prototipo della categoria delle variabili a eclisse. Nei pressi del vertice inferiore, tra questo e la vicina Cassiopea, si trova il doppio ammasso η e χ Per che risulta spettacolare attraverso un binocolo.



Ripartendo da Orione, prolungando di quasi 30° la direttrice Rigel-Betelgeuse, si incontrano Castore e Polluce della costellazione dei Gemelli i cui corpi, formati da stelle deboli approssimativamente allineate, si dirigono verso Orione.

Nella direzione Bellatrix-Betelgeuse, a 25° da questa (una spanna), si individua Procione del Cane Minore, al di là della quale si trova la piccola costellazione del Cancro. Al centro di questa costellazione dello Zodiaco un lucidissimo ammasso molto ampio e vicino: il Presepe.

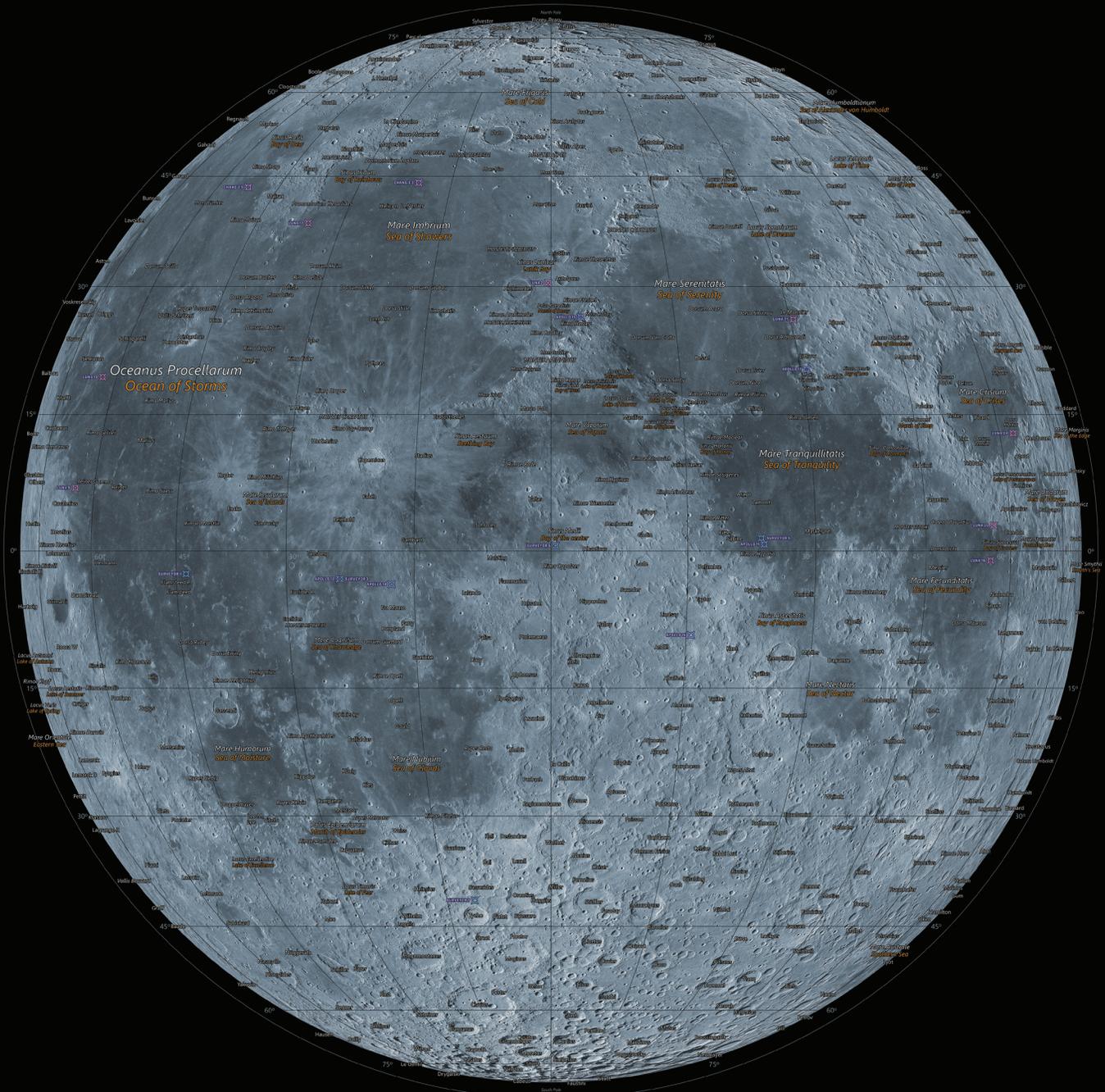
A sinistra di Orione la Via Lattea è ben visibile in corrispondenza dell'Unicorno. Alla destra inizia la lunghissima, tormentata e debole costellazione del Fiume Eridano che prosegue sotto l'orizzonte terminando con Achernar.

Costellazioni anticircumpolari: Reticolo, Dorado, Pittore, Carena, Montagna, Tavola e Pesce. Parzialmente visibili in Europa Cielo, Colomba, Poppa della Nave. Oggetti rimarchevoli: Canopo, di prima grandezza, nella Carena, e la Grande Nube di Magellano, altra galassia satellite della nostra.

CONCLUSIONI

Si conclude qui la sommaria descrizione dell'Universo che ci circonda, di ciò che contiene e di ciò che si può vedere se, appassionato da questo soggetto, il lettore deciderà di coltivarlo come hobby. Come detto più volte, il cielo è affascinante, ma rimane statico se si cerca di farne solo "un bocconcino". Diventerà invece un ricchissimo tesoro di soddisfazioni se si individuerà qualche argomento da approfondire a livello di ricerca, come è stato più volte indicato. È solo così che una curiosità potrà diventare una passione.

MAPPE LUNARI



La mappa è stata realizzata sulla base delle immagini ottenute dall'orbiter LRO (NASA) ed è stata compilata da Łukasz Łukasiewicz (Copyright © Łukasz Łukasiewicz, astrostrona.pl/moon-map/, licenza Creative Commons BY-NC-ND 3.0. I

LATIN-ENGLISH DICTIONARY**names of lunar features:**

Catena – Chain of craters
 Dorsum (*dorsa*) – Ridge
 Fossa (*fossae*) – Fault
 Lacus – Lake
 Mare – Sea
 Mons (*montes*) – Mount
 Oceanus – Ocean
 Palus – Marsh
 Planitia – Plain
 Promontorium – Cape
 Rima (*rimae*) – Rille
 Rupes – Cliff
 Sinus – Bay
 Vallis – Valley

SYMBOLS:

N – features on the near side

F – features on the far side

N/F – features on the near/far side edge

Maria and Oceanus

Oceanus Procellarum – Ocean of Storms (N)
 Mare Anguis – Serpent Sea (N)
 Mare Australe – Southern Sea (N/F)
 Mare Cognitum – Sea of Knowledge (N)
 Mare Crisium – Sea of Crises (N)
 Mare Fecunditatis – Sea of Fecundity (N)
 Mare Frigoris – Sea of Cold (N)
 Mare Humboldtianum – Sea of Alexander von Humboldt (N/F)
 Mare Humorum – Sea of Moisture (N)
 Mare Imbrium – Sea of Showers (N)
 Mare Ingenii – Sea of Cleverness (F)
 Mare Insularum – Sea of Islands (N)
 Mare Marginis – Sea of the Edge (N/F)
 Mare Moscovense – Sea of Moscow (F)
 Mare Nectaris – Sea of Nectar (N)
 Mare Nubium – Sea of Clouds (N)
 Mare Orientale – Eastern Sea (N/F)
 Mare Serenitatis – Sea of Serenity (N)
 Mare Smythii – Smyth's Sea (N)
 Mare Spumans – Foaming Sea (N)

Mare Tranquillitatis – Sea of Tranquility (N)
 Mare Undarum – Sea of Waves (N)
 Mare Vaporum – Sea of Vapors (N)

Lacus

Lacus Aestatis – Lake of Summer (N)
 Lacus Autumni – Lake of Autumn (N)
 Lacus Bonitatis – Lake of Goodness (N)
 Lacus Doloris – Lake of Sorrow (N)
 Lacus Excellentiae – Lake of Excellence (N)
 Lacus Felicitatis – Lake of Happiness (N)
 Lacus Gaudii – Lake of Joy (N)
 Lacus Hiemalis – Lake of Winter (N)
 Lacus Lenitatis – Lake of Softness (N)
 Lacus Luxuriae – Lake of Luxury (F)
 Lacus Mortis – Lake of Death (N)
 Lacus Oblivionis – Lake of Forgetfulness (N)
 Lacus Odii – Lake of Hatred (N)
 Lacus Perseverantiae – Lake of Perseverance (N)
 Lacus Solitudinis – Lake of Solitude (F)
 Lacus Somniorum – Lake of Dreams (N)
 Lacus Spei – Lake of Hope (N)

Lacus Temporis – Lake of Time (N)
 Lacus Timoris – Lake of Fear (N)
 Lacus Veris – Lake of Spring (N)

Sinus

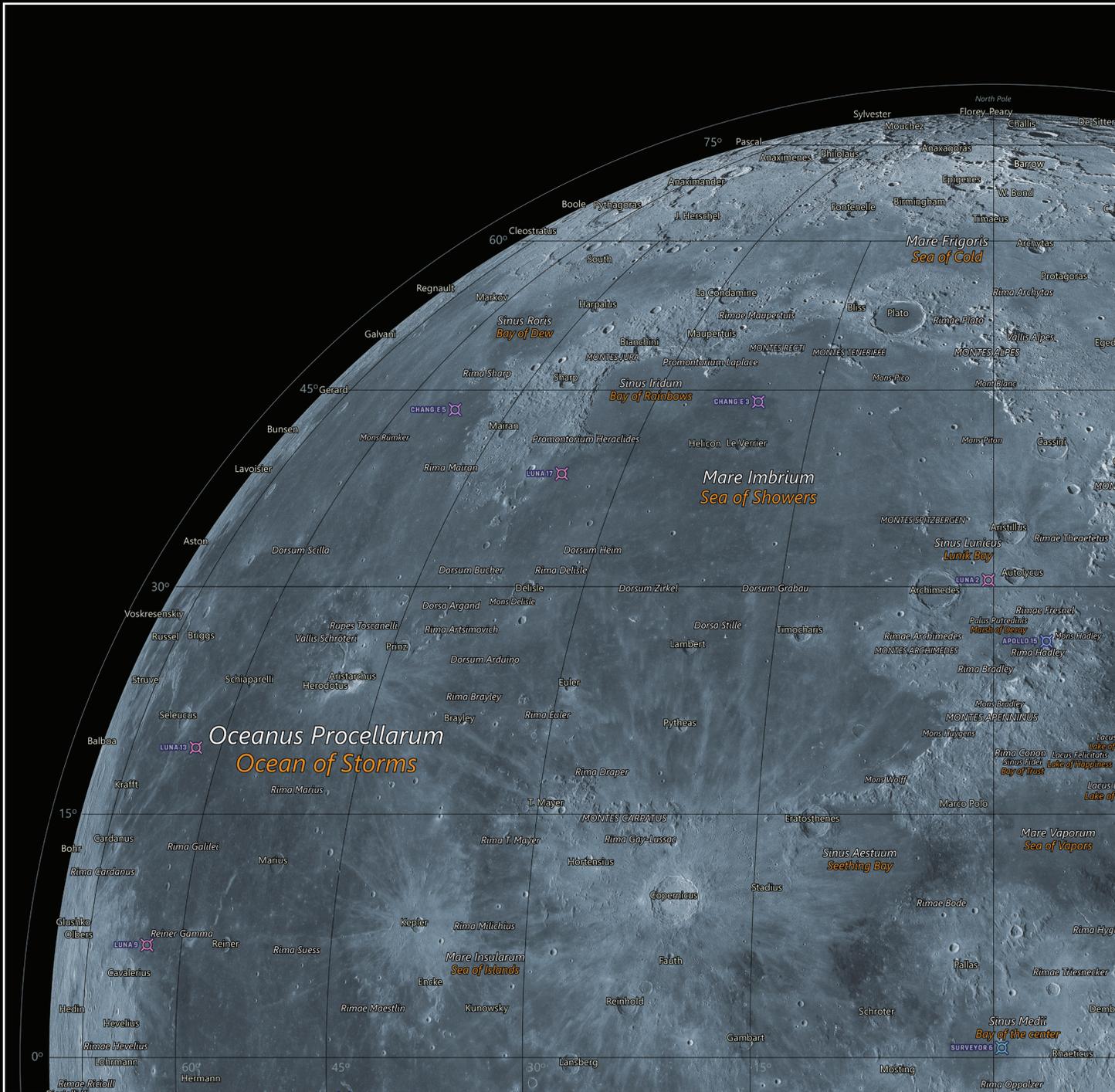
Sinus Aestuum – Seething Bay (N)
 Sinus Amoris – Bay of Love (N)
 Sinus Asperitatis – Bay of Roughness (N)
 Sinus Concordiae – Bay of Harmony (N)
 Sinus Fidei – Bay of Trust (N)
 Sinus Honoris – Bay of Honor (N)
 Sinus Iridum – Bay of Rainbows (N)
 Sinus Lunicus – Lunik Bay (N)
 Sinus Medii – Bay of the center (N)
 Sinus Roris – Bay of Dew (N)
 Sinus Successus – Bay of Success (N)

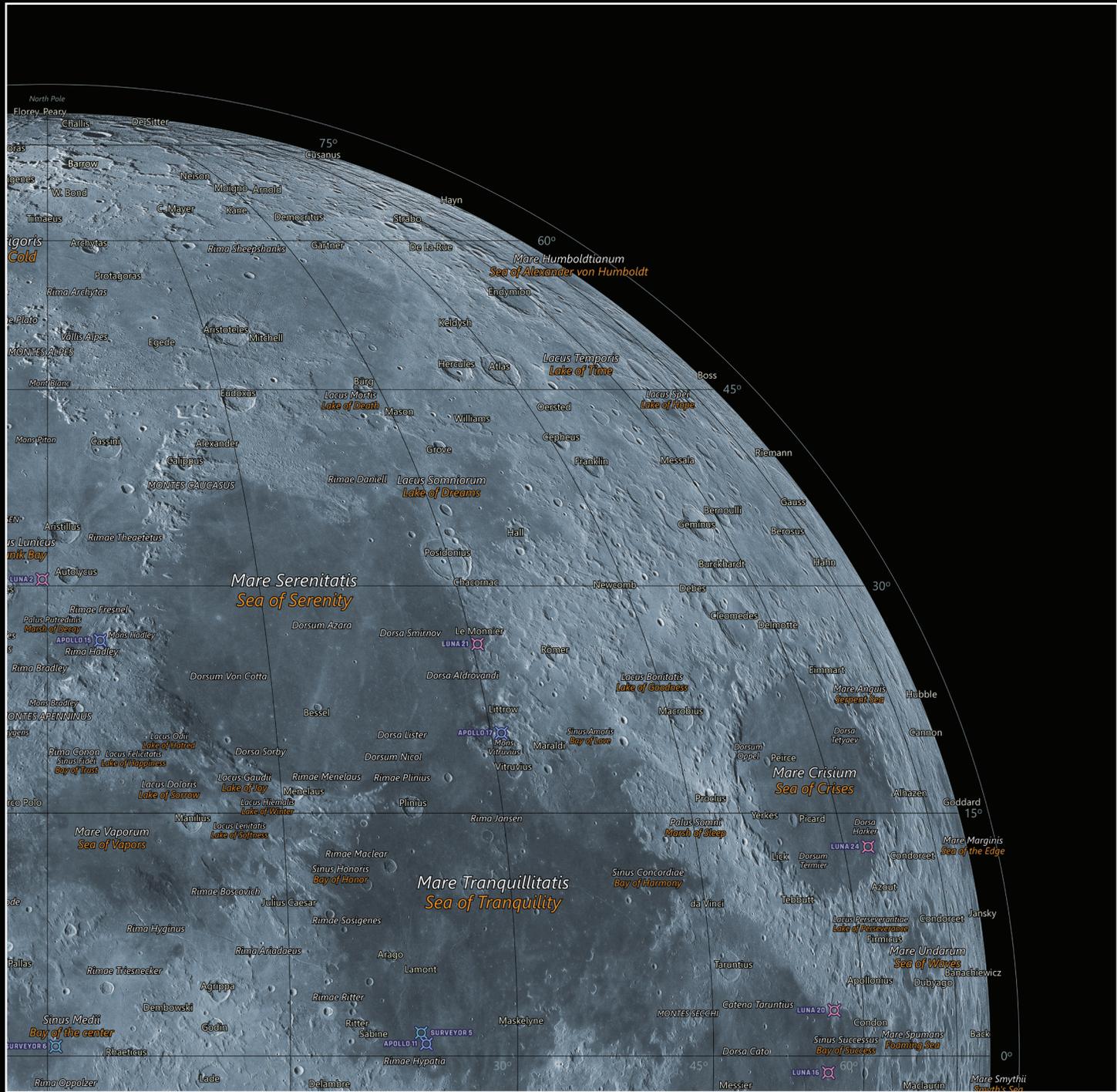
Paludes

Palus Epidemiarum – Marsh of Epidemics (N)
 Palus Putredinis – Marsh of Decay (N)
 Palus Somni – Marsh of Sleep (N)

100 miles

100 km





SELECTED MISSIONS

- ✂ Luna 2: 12 Spetember/13 September 1959 (USSR)
- ✂ Luna 9: 31 January /3 February 1966 (USSR)
- ✂ Surveyor 1: 30 May/2 June 1966 (USA)
- ✂ Luna 13: 21 December/24 December 1966 (USSR)
- ✂ Surveyor 3: 17 April/20 April 1967 (USA)
- ✂ Surveyor 5: 8 September/11 September 1967 (USA)
- ✂ Surveyor 6: 7 November/10 November 1967 (USA)
- ✂ Surveyor 7: 7 January/10 January 1968 (USA)
- ✂ Apollo 11: 16 July/20 July 1969 (USA)
- ✂ Apollo 12: 14 November/19 November 1969 (USA)
- ✂ Luna 16: 12 September/20 September 1970 (USSR)
- ✂ Luna 17: 10 November/17 November 1970 (USSR)
- ✂ Apollo 14: 31 January/5 February 1971 (USA)
- ✂ Apollo 15: 26 July/30 July 1971 (USA)
- ✂ Luna 20: 14 February/21 February 1972 (USSR)
- ✂ Apollo 16: 16 April/21 April 1972 (USA)
- ✂ Apollo 17: 7 December/11 December 1972 (USA)
- ✂ Luna 21: 8 January/15 January 1973 (USSR)
- ✂ Luna 24: 9 August/18 August 1976 1976 (USSR)
- ✂ Chang'e 3: 1 December/14 December 2013 (PRC)
- ✂ Chang'e 5: 23 INovember/1 November 2020 (PRC)

(launch date/reaching Moon date)

PHYSICAL CHARACTERISTICS

Mean radius: 1 737.4 km (0,27 of Earth's)

Equatorial radius: 1 738.1 km

Polar radius: 1 736.0 km

Flattening: 0,0012

Surface area: $3,793 \times 10^7 \text{ km}^2$

Distance from Earth: 384 403 km

Mass: $7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$ (0,012 of Earth's)

Mean density: $3,34 \text{ g/cm}^3$

Surface gravity: $1,62 \text{ m/s}^2$ (0,17 of Earth's)

Escape velocity: 2,38 km/s

Rotation period: 29,53 d

Sidereal rotation period: 27,32 d

Equatorial rotation velocity: 16,66 km/h

Axial tilt: $3,60^\circ$ – $6,69^\circ$ ($1,54^\circ$ to ecliptic)

Albedo: 0,12

Apparent magnitude: -12,74 mag (mean full moon)

Angular diameter:

– perygeum: $33'28''$

– apogeum: $29'55''$

Surface temperatures:

- (K) : min 40 / mean 25- / max 396

- (°C) : min -233 / mean -10 / max 123

ORBIT

Semi-major axis: 384 400 km

Orbit circumference: 2 413 402 km

Perigee: 363 104 km

Apogee: 405 696 km

Sideral period: 27,32 d

Synodic period: 29,53 d

Average orbital speed: 1,02 km/s

Inclination to the celiptic: $5,15^\circ$

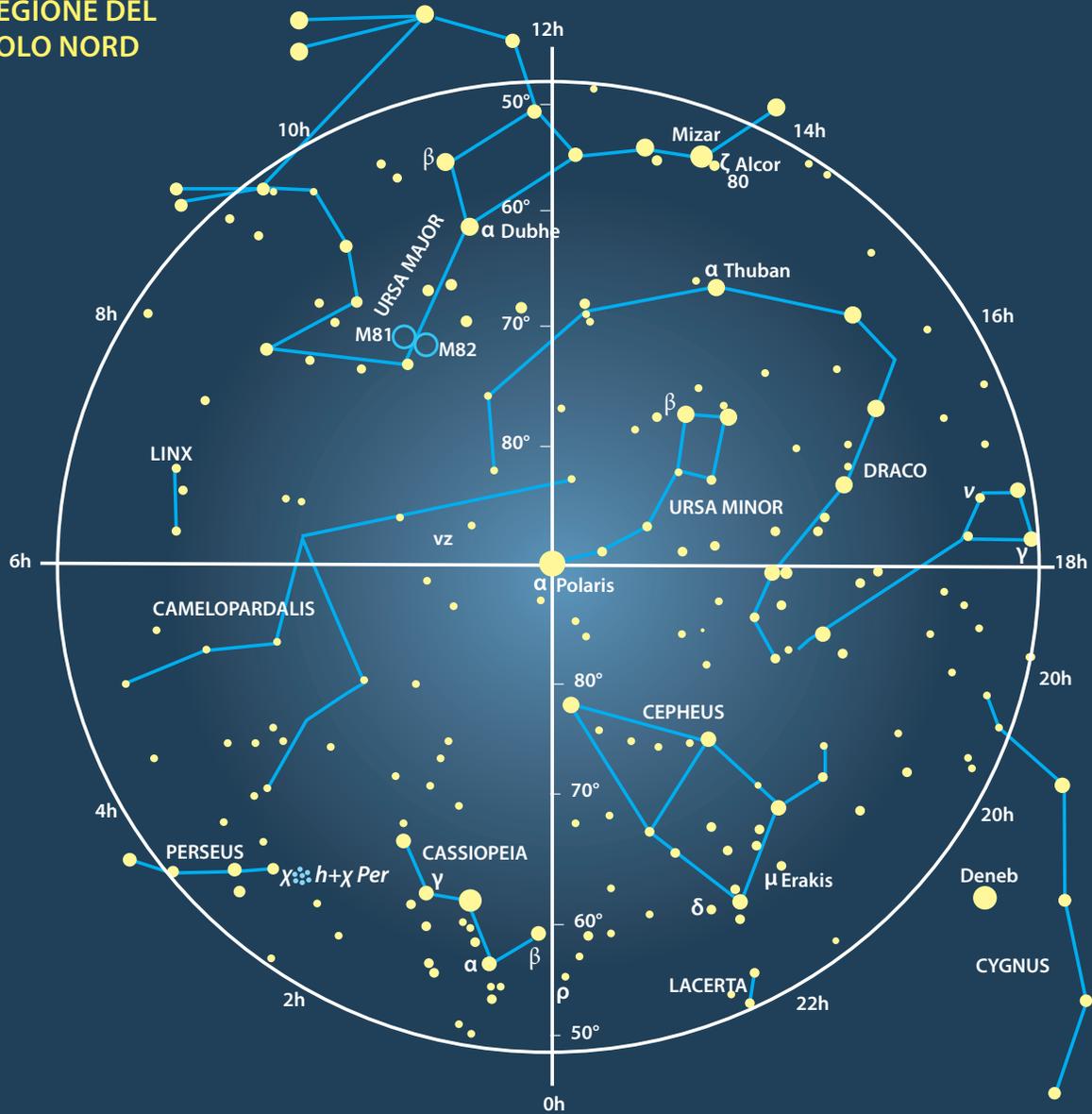
MAPPE CELESTI

MAGNITUDINE

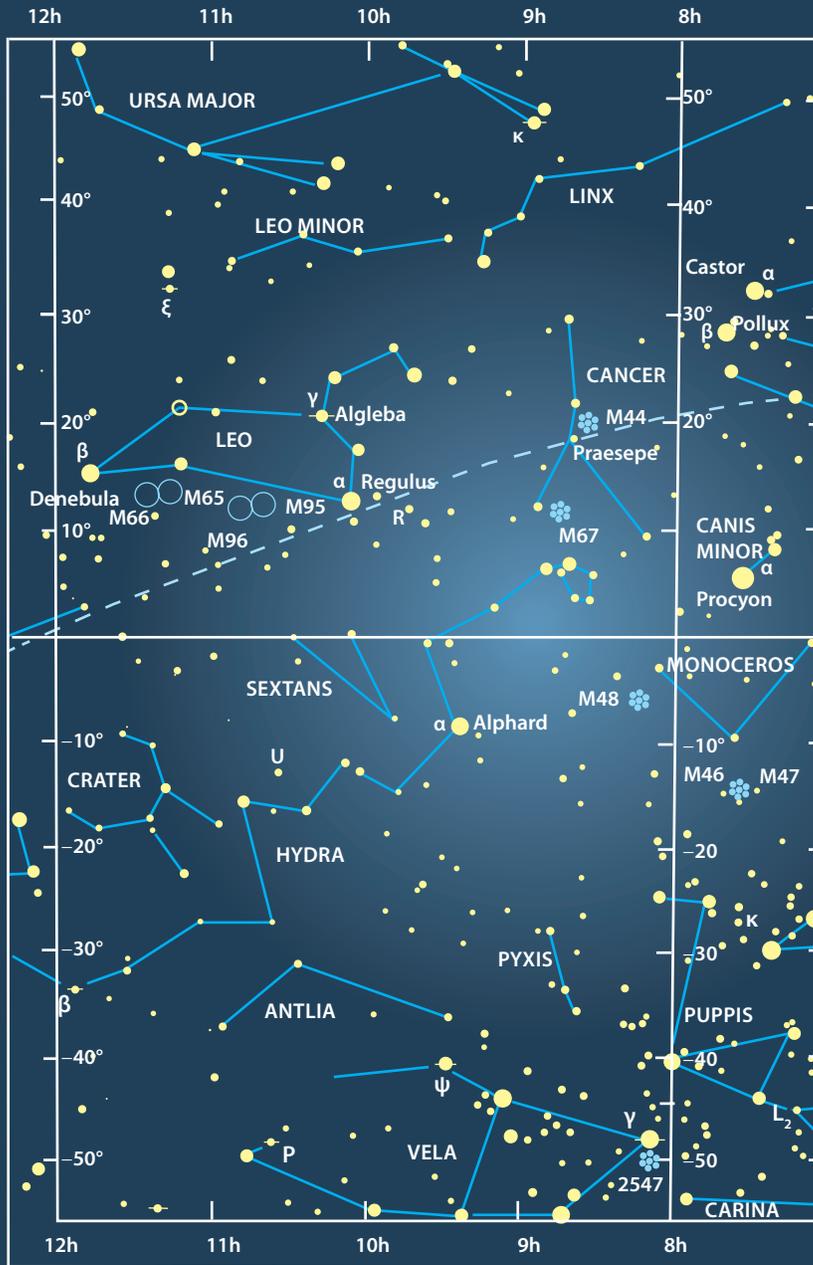
-  1
-  2
-  3
-  4
-  5
-  6

-  nebulose planetarie
-  galassie
-  ammassi globulari
-  nebulose diffuse
-  ammassi stellari aperti
-  stelle doppie
-  eclittica

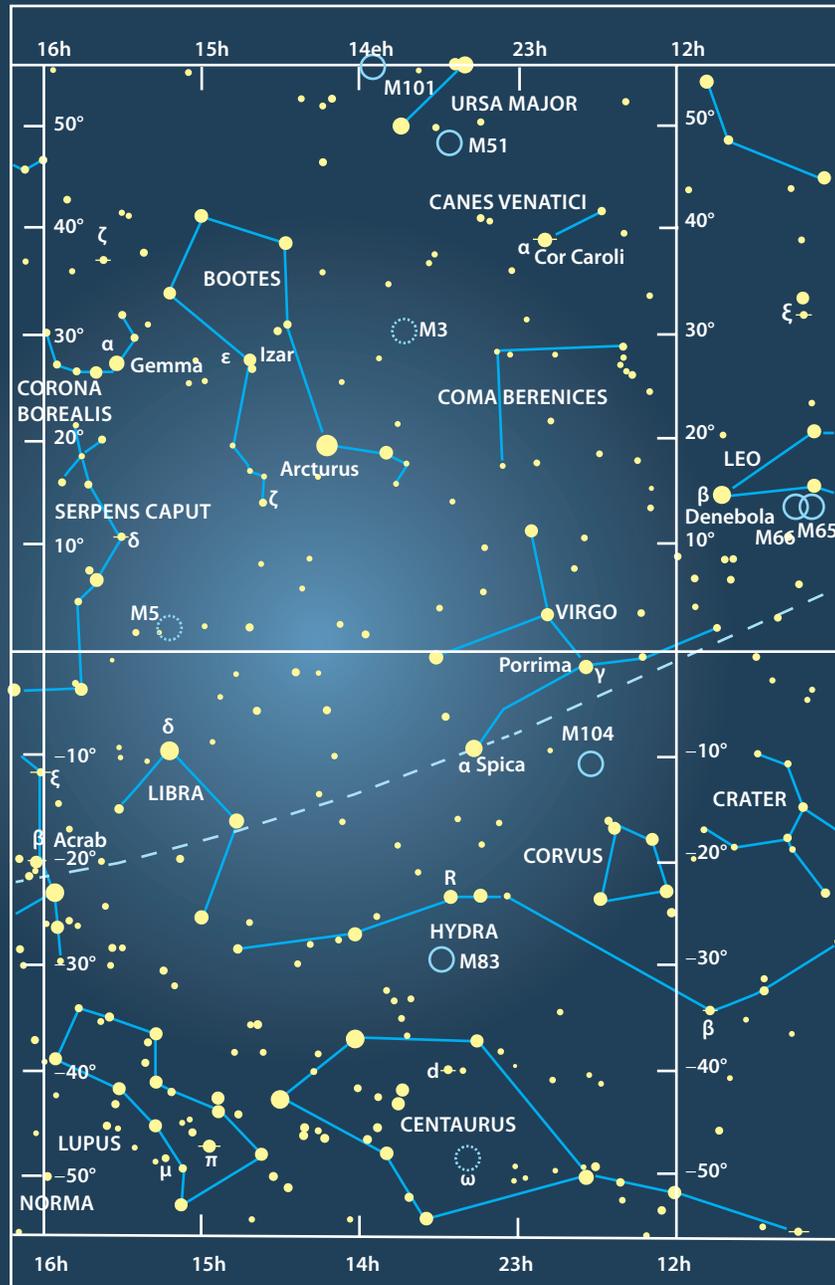
REGIONE DEL POLO NORD



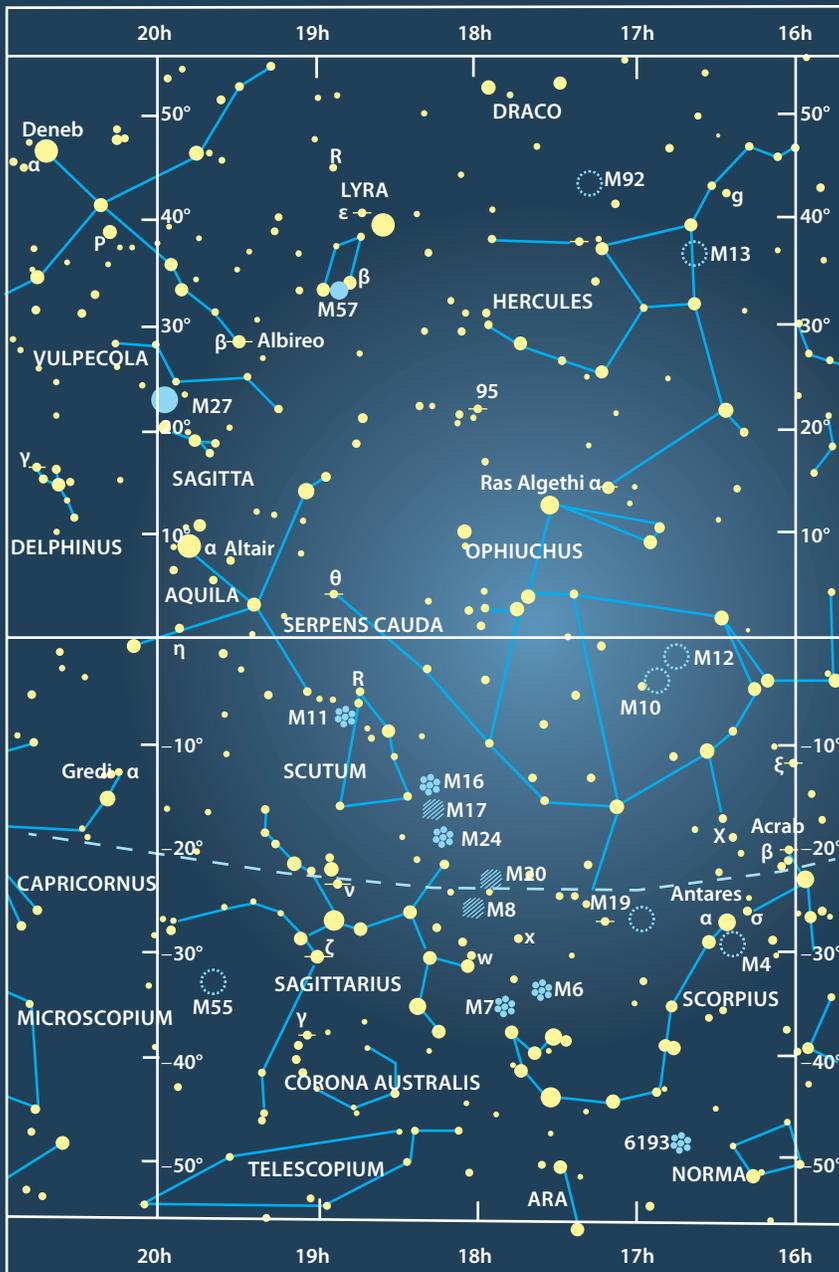
ASCENSIONE RETTA 8h - 12h



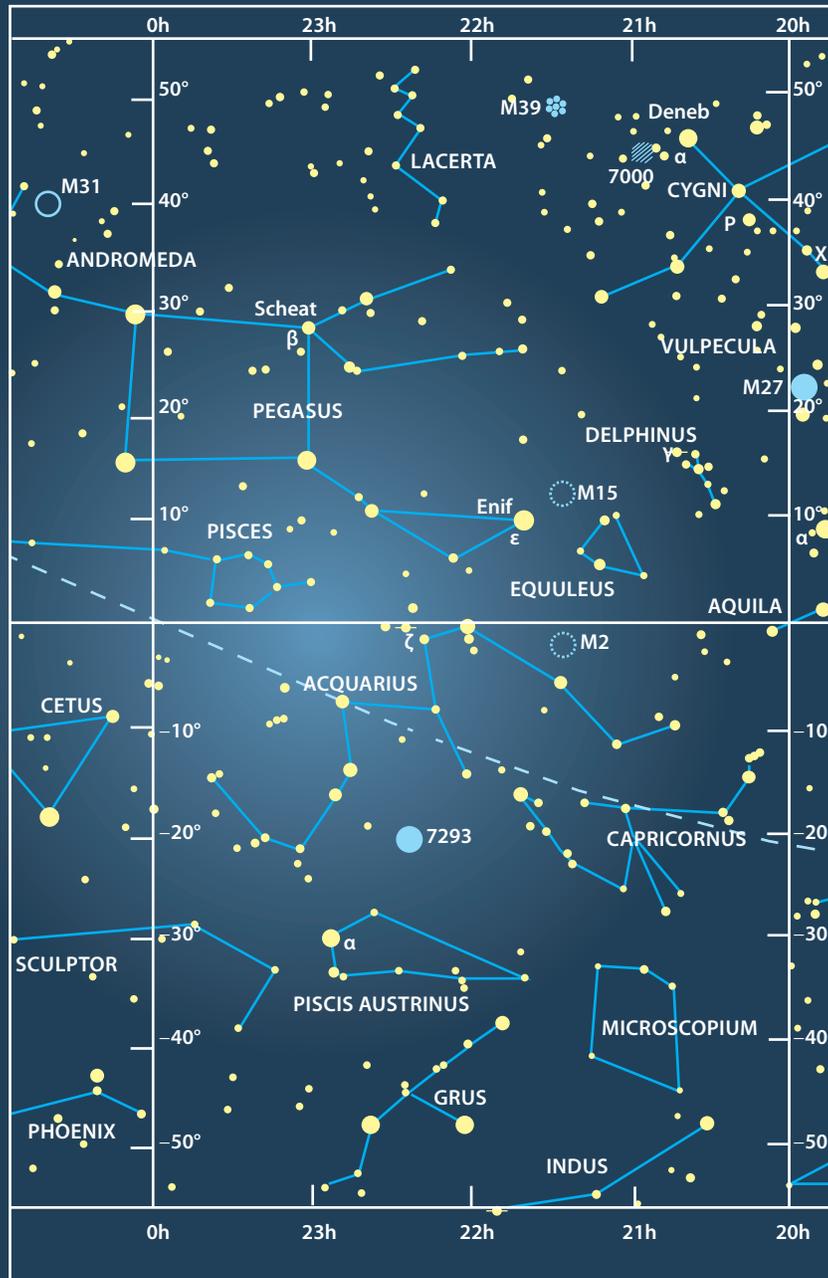
ASCENSIONE
RETTA 12h - 16h



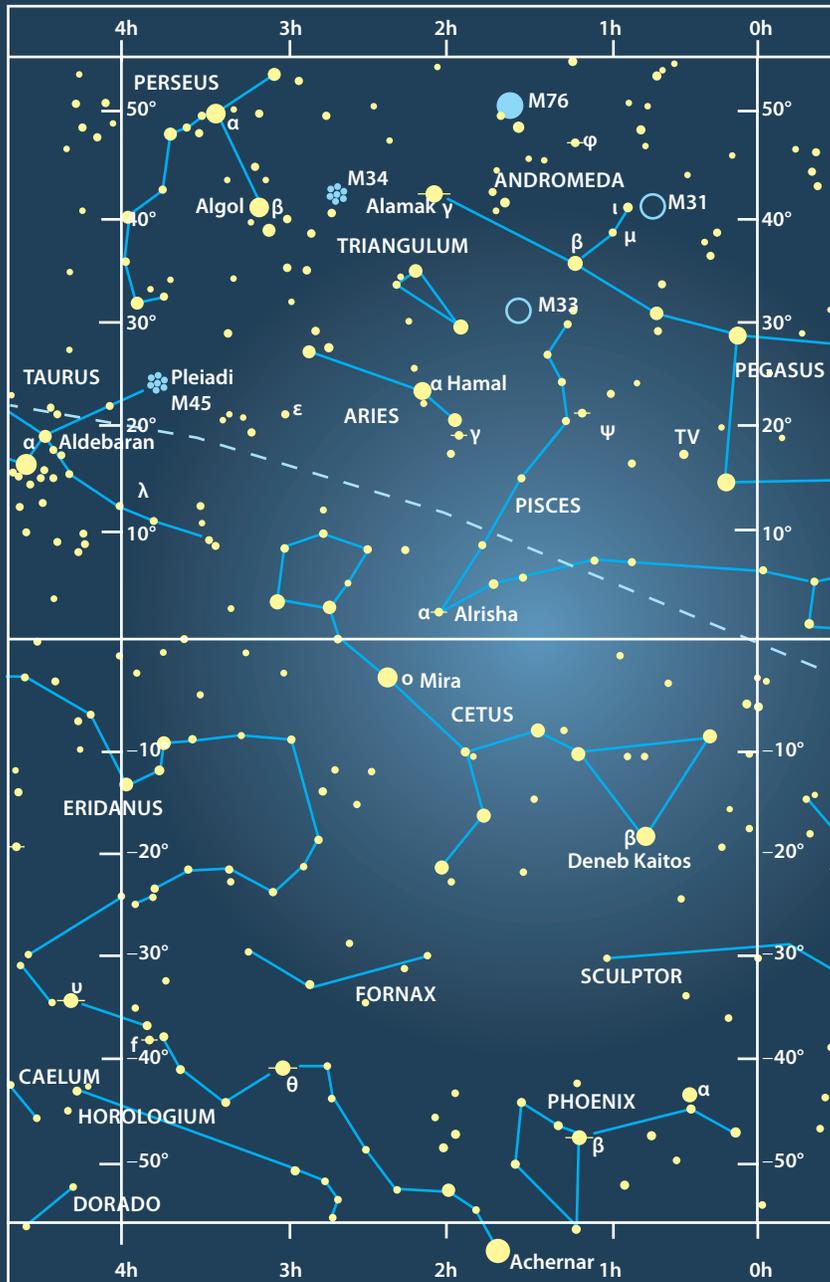
ASCENSIONE RETTA 16h - 20h



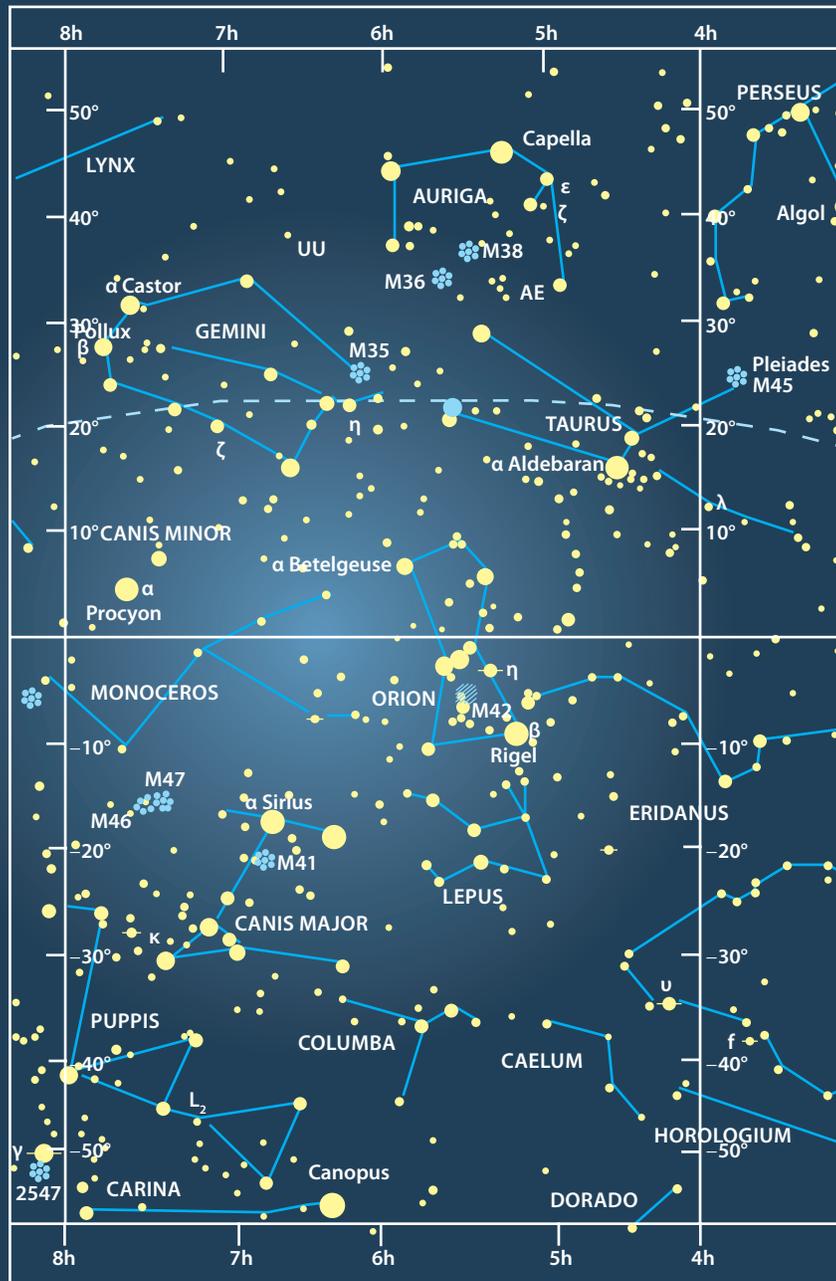
**ASCENSIONE
RETTA 20h - 24h**

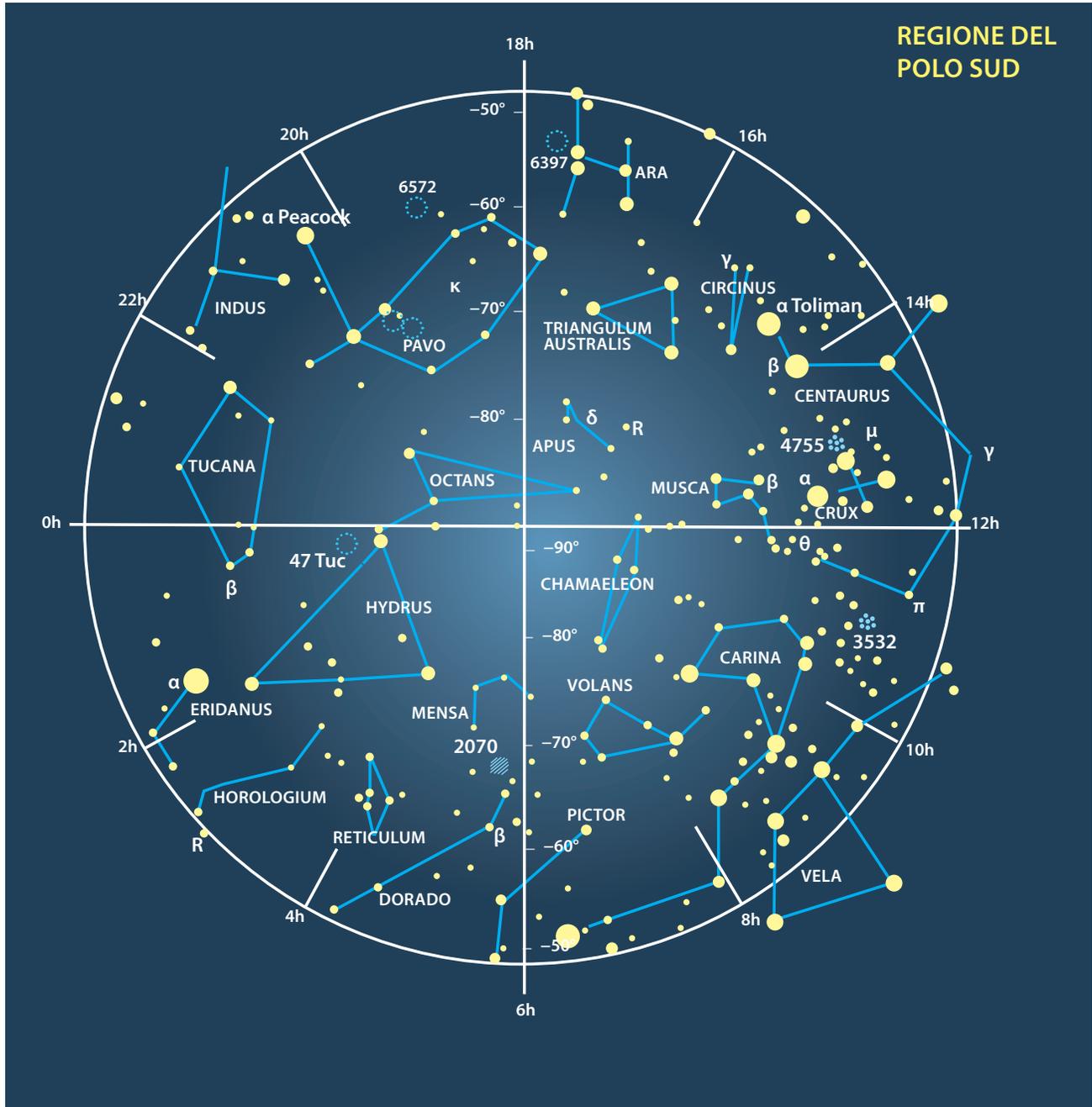


**ASCENSIONE
RETTA 0h - 4h**



ASCENSIONE
RETTA 4h - 8h





GLOSSARIO

Afelio Punto più lontano dal Sole lungo un'orbita che ha il Sole come uno dei fuochi.

Alone galattico Regione sferica intorno al nucleo di una galassia occupato e individuato da stelle vecchie e ammassi globulari.

Altezza Angolo minimo tra un astro e l'orizzonte, misurato in gradi e sottomultipli lungo un cerchio verticale passante per l'astro.

Ammasso stellare Gruppo di stelle nate contemporaneamente e ancora fisicamente molto vicine tra loro. A. s. globulare: ammasso di forma sferoidale formato da stelle vecchie (10-12 miliardi di anni), molto concentrate verso il centro, a distanze di alcune Unità Astronomiche. A. s. aperto: ammasso di forma irregolare costituito da stelle giovani (milioni di anni) presente nel disco delle galassie.

Angolo di posizione Luogo di una circonferenza misurato in gradi a partire dal Nord (0°) verso Est (90°), Sud (180°) e Ovest (270°).

Angolo orario Tempo siderale tra-

scorso dal momento del passaggio di un astro al Meridiano Locale. È dato dalla differenza tra il Tempo Siderale locale e l'Ascensione Retta del corpo in esame.

Anno Intervallo di tempo tra due passaggi del Sole attraverso lo stesso riferimento della sfera celeste. A. sidereo: punto di riferimento fisso sulla sfera celeste (es. una stella lontanissima), durata 365,2564 giorni solari medi. A. tropico o civile: riferimento nel punto d'Ariete e durata 365,2422 giorni solari medi.

Anno luce Distanza percorsa dalla luce nel vuoto in un anno tropico, corrispondente a 9 460 700 000 000 km.

Anti-circumpolare Calotta che gira attorno al Polo celeste senza mai sorgere all'orizzonte dell'osservatore.

Apogeo Punto più lontano dalla Terra lungo un'orbita che ha la Terra come uno dei fuochi.

Ascensione Retta Tempo trascorso tra il passaggio del punto di Ariete e quello dell'astro in oggetto allo stesso meridiano, misurato in Tempo Siderale.

Azimut Angolo misurato sull'orizzonte a partire da Sud (0°) verso Ovest (90°), Nord (180°) ed Est (270°). In ambiente commerciale si usa l'azimut dei naviganti che si conta da Nord verso Est.

Buco Nero Stella collassata, probabilmente formata di neutroni, con gravità superficiale così elevata che la velocità di fuga supera i 300 000 km/s, per cui neppure la luce può sfuggire. Più in generale oggetto dal quale non possono sfuggire porzioni di materia né la luce. All'interno delle galassie si osservano spesso buchi neri massicci o supermassicci, di milioni o miliardi di volte la massa solare.

Cerchio orario Uno degli infiniti cerchi massimi passanti per i due Poli celesti.

Circumpolare Calotta che gira intorno al Polo celeste senza tramontare mai per l'osservatore.

Cometa Membro del Sistema Solare, usualmente percorrente orbite molto ellittiche e di qualsiasi inclinazione rispetto all'eclittica. È formata da un nucleo solido (ghiacci di vari compo-

sti tra cui l'acqua) inglobante materiale solido finemente granulato (da cui si originano le stelle cadenti e la luce zodiacale). Riscaldato dai raggi del Sole il materiale ghiacciato evapora formando la chioma che viene sospinta verso le regioni esterne del sistema solare dal vento solare, dando vita alla coda.

Congiunzione Momento in cui due corpi celesti hanno identica la coordinata Ascensione Retta. C. inferiore: quando un pianeta interno (Mercurio o Venere) si trova nella regione compresa tra la Terra e il Sole. C. superiore: quando un pianeta e la Terra si trovano da parti opposte rispetto al Sole.

Corona Parte più esterna dell'atmosfera solare, caratterizzata da un'altissima temperatura (milioni di gradi) e bassissima densità. Si osserva con speciali strumenti, durante le eclissi totali di Sole o da osservatori in orbita fuori dell'atmosfera.

Costellazione Anticamente gruppo di stelle visibili a occhio nudo, di forma riconoscibile ed associato a una raffigurazione mitologica. Le moderne costellazioni sono porzioni della sfera celeste delimitate da archi di Ascensione Retta o declinazione.

Culminazione Momento in cui un corpo celeste attraversa il meridiano locale. C. superiore: corrisponde all'attraversamento della metà del meridiano che contiene lo Zenit. C. inferiore: momento dell'attraversamento dell'altra metà di meridiano; può verificarsi con l'astro al di sotto dell'orizzonte, corrispondente a un'altezza negativa.

Declinazione Distanza in gradi e sottomultipli dall'equatore celeste misurata lungo un cerchio orario.

Eccentricità Misura del grado di schiacciamento di un'ellisse. Vale zero per un cerchio.

Eclisse Passaggio della Luna attraverso l'ombra o la penombra della Terra (E. di Luna) o della Terra attraverso l'ombra o la penombra della Luna (E. di Sole). E. totale: quando interessa tutte le parti del corpo. E. parziale: quando il mascheramento interessa una parte del corpo. Eclisse anulare di Sole: quando la distanza Terra-Luna è maggiore della lunghezza del cono d'ombra lunare e rimane visibile intorno alla Luna un anello di fotosfera solare.

Eclittica Piano che contiene l'orbita della Terra intorno al Sole. Su questo stesso piano si compie il moto apparente del Sole nel corso di un anno.

Effemeridi Calcoli o raccolte numeriche tese a prevedere le posizioni e le modalità di fenomeni astronomici.

Ellisse Curva chiusa costituita da tutti i punti che mantengono costante la somma delle distanze da due altri punti particolari detti fuochi. Se i fuochi coincidono si ha il cerchio. Il diametro maggiore dell'ellisse, che passa attraverso i due fuochi, viene detto asse maggiore.

Elongazione Angolo tra la direzione lungo la quale si osserva il Sole e quella lungo la quale si osserva un determinato corpo. Nel caso dei pianeti interni si distingue E. Est o E. Ovest in funzione della posizione dei pianeti rispetto al Sole come visti da Terra.

Epatta Età della Luna al 31 dicembre.

Equatore terrestre Piano passante per il centro della Terra e perpendicolare all'asse di rotazione, ma anche cerchio corrispondente all'intersezione tra questo piano e la superficie terrestre.

Equatore celeste Cerchio massimo formato dalla proiezione dell'equatore terrestre sulla sfera celeste e che la divide in due emisferi uguali.

Equazione del Tempo Differenza tra

il Tempo Solare medio e il Tempo Solare vero.

Equinozio Uno dei due momenti dell'anno in cui il Sole, muovendosi sull'eclittica, attraversa l'equatore celeste. Attorno al 19-21 marzo si ha l'E. di primavera (o vernale) e l'Ascensione Retta del Sole è zero (Punto d'Ariete). Attorno al 22-23 settembre si ha l'E. di autunno e l'A.R. del Sole è 12h.

Evezione Variazione del valore dell'eccentricità dell'orbita lunare.

Facole Macchie brillanti sulla fotosfera solare, solitamente associate alle macchie solari ma osservabili anche in assenza di queste. La loro temperatura è più alta della media fotosferica.

Fase Cambiamento apparente della forma di un disco planetario o lunare legato alla parziale visibilità da Terra dell'emisfero del corpo illuminato dal Sole. F. di un'eclisse: momento durante lo svolgimento di un'eclisse (primo contatto, totalità, fase di penombra ecc.).

Fotosfera Regione dell'atmosfera solare dalla quale viene emessa la maggior parte della luce osservata visualmente. Corrisponde allo strato più interno dell'atmosfera solare.

Fuoco Nel caso di un'ellisse, si veda quella voce. Nel caso di una lente positiva si tratta del punto in cui questa fa convergere i raggi provenienti da un corpo posto a distanza infinita.

Fuso orario Spicchio di superficie terrestre delimitato da due meridiani distanti 15° in longitudine. La superficie della Terra è divisa in 24 spicchi a ognuno dei quali compete un proprio tempo di fuso. Fra i tempi di fusi diversi e il tempo del fuso di Greenwich, preso come Tempo Universale, esiste una differenza di un numero intero di ore.

Galassia Insieme di stelle, gas e polveri costretto gravitazionalmente a un'evoluzione comune e caratterizzato da varie forme. La galassia cui appartiene il sistema solare è detta anche Via Lattea.

Gigante rossa Fase evolutiva di una stella in cui le dimensioni diventano enormi (centinaia di milioni di chilometri di diametro) con una corrispondente diluizione della materia e diminuzione della temperatura fotosferica (colore tendente al rosso).

Giorno Intervallo di tempo tra due successivi passaggi di uno stesso astro al meridiano locale, causati dalla rotazione terrestre. Se l'astro è una stella lontana si ha il G. sidera-

le. Se l'astro è il Sole si ha il G. solare vero. Se l'astro è un Sole fittizio, che si muove per tutto l'anno con perfetta regolarità, si ha il G. solare medio.

Gravitazione Mutua attrazione tra due corpi che sviluppa una forza proporzionale al prodotto delle masse dei corpi stessi e inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza.

Hertzsprung-Russell, Diagramma Su un diagramma che porta in ascisse la temperatura (o il colore) e in ordinate la luminosità (o la magnitudine), le stelle si dispongono lungo una fascia detta Sequenza principale e in due ristrette zone dette Ramo delle Giganti e Ramo delle Nane bianche. Essendo una fotografia istantanea di una situazione soggetta a evoluzione continua fornisce spunti per ipotesi e teorie evolutive delle stelle.

Latitudine Minima distanza angolare da un piano fondamentale. Nella L. terrestre il piano di riferimento è quello equatoriale. Nella L. eclittica il piano è quello dell'eclittica; può essere misurata a partire dal Sole (L. eclittica eliocentrica) o dalla Terra (L. eclittica geocentrica).

Longitudine Angolo misurato circolarmente su un piano fondamentale a partire da una direzione fissa. La L. terrestre viene misurata sul piano

equatoriale a partire dal meridiano di Greenwich. La L. eclittica si misura sull'eclittica a partire dal punto d'Ariete; può essere misurata dal Sole (L. e. eliocentrica) o dalla Terra (L. e. geocentrica).

Luce Complesso fenomeno di natura elettromagnetica al quale sono associate le proprietà delle particelle (fotoni), ma anche quelle tipiche delle onde.

Luce cinerea Luce solare che, riflessa dalla Terra, illumina la superficie lunare non ancora direttamente colpita dai raggi del Sole, rendendola visibile contro lo sfondo del cielo scuro.

Magnitudine Grandezza, definita a partire da una scala logaritmica, che misura il flusso di luce che giunge alla Terra partendo da una determinata sorgente.

Meridiano Cerchio massimo passante per i poli. Si definisce sia per la Terra che per la sfera celeste. In questo caso assume il nome di Cerchio orario.

Mese Intervallo di tempo impiegato dalla Luna per percorrere la propria orbita. Con riferimento ad uno stesso nodo si ha il M. draconico, di durata di 27,2122 giorni solari medi. Rispetto alle stelle si ha il M. siderale, di durata 27,3217d. Con riferimento al Sole si ha il M. sinodico, di 29,5306d.

Mezzogiorno Istante in cui il Sole attraversa il meridiano locale.

Meteora Frammento solido che entra nell'atmosfera terrestre a velocità comprese tra 10 e 70 km/s e che, per attrito con questa, si riscalda fino a diventare incandescente ed evaporare lasciando una scia luminosa. Se giunge a terra viene chiamato meteorite.

Moto diretto Moto che, osservato dal Polo Nord, avviene in direzione contraria a quella delle lancette dell'orologio. M. retrogrado è detto quello inverso.

Moto medio Angolo dell'orbita descritto in un giorno, supponendo l'orbita circolare.

Nadir Punto della sfera celeste che si trova prolungando verso il basso la direzione del filo a piombo.

Nana bianca Stella nella fase finale della sua evoluzione quando, esaurito il combustibile nucleare, collassa sotto il dominio della gravità fino a dimensioni dell'ordine di grandezza del pianeta Terra.

Nebulosa Insieme di materia gassosa molto diluita non brillante di luce propria. Può riflettere la luce di una stella (N. a riflessione), esserne eccitata fino a emettere luce (N. a

emissione) o impedire l'osservazione degli oggetti posti al di là di essa (N. oscura). È costituita in prevalenza di idrogeno ed elio.

Nodo Punto della sfera celeste in cui si intersecano il piano dell'eclittica e un altro piano. Se questo è l'equatore si ha il nodo dell'eclittica. N. ascendente se il nodo viene attraversato salendo sopra l'eclittica e N. discendente nel caso opposto. Se il secondo piano è un'orbita di un pianeta o una cometa si ha il nodo dell'orbita.

Numero aureo Numerazione d'ordine delle epatte nel ciclo metonico.

Nutazione Moto oscillatorio dell'asse di rotazione terrestre di piccola entità (9") e periodicità 18,6 anni, sovrapposto alla Precessione.

Obiettivo Parte ottica di uno strumento destinata a raccogliere la luce che, opportunamente focalizzata ed elaborata dall'oculare, verrà indirizzata all'occhio oppure verrà utilizzata per impressionare un'emulsione fotografica o un sensore solido (CCD o CMOS). Se è a lente è tipico dei rifrattori, se è a specchio è tipico dei riflettori.

Occultazione Come Eclisse, ma di uso più generale.

Oculare Parte ottica di uno stru-

mento destinata a ingrandire l'immagine focale fornita dall'obiettivo. Solitamente opera come un microscopio.

Opposizione Momento in cui due corpi hanno longitudini eclittiche che differiscono di 180° rispetto al punto di osservazione (solitamente la Terra).

Orbita Cammino percorso nello spazio da un corpo legato gravitazionalmente a un altro corpo.

Orizzonte Circolo (irregolare) che limita ai nostri occhi la sfera celeste osservabile.

Parallasse Spostamento apparente di un corpo osservato da due punti diversi.

Perielio Punto più vicino al Sole lungo un'orbita che ha il Sole come uno dei fuochi.

Perigeo Punto più vicino alla Terra di un'orbita che ha nella Terra uno dei fuochi.

Pianeta Corpo non luminoso che orbita attorno a una stella e che mostra un moto apparente molto cospicuo rispetto alle stelle fisse.

Pianetino Corpi minori del sistema solare, di dimensioni inferiori al mi-

gliaio di chilometri, molto numerosi tra le orbite di Marte e Giove. L'insieme costituisce come un anello intorno al Sole.

Planetesimi Corpi che, nel Sistema Solare in formazione, precedono e determinano la formazione dei pianeti. Cadendo sulle superfici dei pianeti in accrescimento hanno determinato la loro craterizzazione.

Polare, Stella Stella della costellazione dell'Orsa Minore che in questi decenni è vicina al Polo Nord celeste.

Polo Punto di una sfera perpendicolare a un dato piano. Se il piano è l'eclittica, si ha il Polo dell'eclittica. Se il piano è l'equatore (terrestre o celeste) si ha il Polo (terrestre o celeste).

Precessione Moto retrogrado del punto d'Ariete dovuto agli effetti gravitazionali della Luna e del Sole sul rigonfiamento equatoriale terrestre.

Punto d'Ariete Posizione sull'eclittica del Sole all'equinozio di primavera. Intersezione dell'equatore celeste con l'eclittica (nodo ascendente).

Quadratura Situazione di un corpo del Sistema Solare quando la congiungente corpo-Terra e quella cor-

po-Sole formano un angolo retto in corrispondenza del corpo (Luna o pianeta).

Raggio vettore Linea che unisce il fuoco principale dell'orbita al corpo che la percorre.

Riflettore Strumento ottico che utilizza come obiettivo la superficie metallizzata di uno specchio concavo.

Rifrattore Strumento ottico che utilizza come obiettivo un'opportuna combinazione di lenti positive.

Rifrazione atmosferica Spostamento apparente di un corpo dovuto alla deviazione della sua luce a opera dell'atmosfera.

Satellite Corpo del Sistema Solare che gira attorno a un pianeta.

Scintillazione Variazione apparente della luminosità stellare dovuta alla rifrazione atmosferica rapidamente variabile.

Sequenza principale Luogo dei punti, sul diagramma H-R, che corrispondono al bruciamento dell'idrogeno nei nuclei stellari.

Sfera celeste Sfera immaginaria centrata sulla Terra e sulla cui superficie le stelle possono essere considerate fisse.

Sistema Solare Regione dell'Universo nella quale è prevalente, rispetto ad altre, l'azione gravitazionale del Sole.

Solstizio Periodo dell'anno in cui il cammino del Sole si ripete giorno dopo giorno senza cospicue differenze di altezza e azimut.

Spettroscopia Analisi della luce proveniente da un corpo, attraverso la quale se ne può determinare la composizione e la temperatura.

Stagioni Cambiamenti del clima legati alla diversa insolazione lungo un anno, determinata dall'inclinazione dell'asse di rotazione e, in minima parte, dalla diversa distanza dal Sole.

Stella Massa sferoidale di idrogeno ed elio che realizza nel nucleo le condizioni opportune per una fusione nucleare.

Stella cadente Emissione temporanea di luce provocata dal surriscaldamento di un corpo solido che penetra nell'atmosfera terrestre. Solitamente di piccole dimensioni.

Stella variabile Stella che, sia per meccanismi propri sia a causa di eclissi, mostra una luminosità variabile, indipendentemente dalla scin-

tillazione provocata dall'atmosfera terrestre.

Tempo Qualità dell'Universo in evoluzione. È misurato rispetto a differenti riferimenti. T. legale: tempo in vigore nei mesi estivi nella maggior parte delle nazioni europee e che supera di 1 ora il Tempo Solare Medio. T. Siderale: è misurato con riferimento alle Stelle fisse. T. Siderale locale: è l'angolo orario del punto d'Ariete. T. Solare Medio: fa riferimento a un Sole fittizio, che si muove per tutto l'anno con velocità angolare costante (Sole medio). T. Solare vero: ha come riferimento il Sole e differisce dal Tempo Solare Medio per l'equazione del Tempo. T. Universale: è il Tempo Solare Medio misurato sul meridiano di Greenwich.

Terminatore Linea che segna il confine tra l'emisfero oscuro e quello illuminato di un corpo del Sistema Solare.

Transito Istante in cui un corpo celeste attraversa il meridiano locale.

Tropico Cerchio parallelo all'equatore terrestre, luogo dei punti distante da questo 23,4°, sul quale il Sole può ancora culminare allo Zenit.

Turbolenza atmosferica Deformazione e variazione di proprietà dell'atmosfera che si riflettono in una deformazione e spostamento apparente dell'immagine dei corpi celesti (seeing).

Unità Astronomica Lunghezza del semiasse maggiore dell'orbita terrestre, pari a 149 507 870 km.

Vento solare Flusso di particelle che si espandono dal Sole in tutte le direzioni, con intensità e velocità variabili. È collegato a fenomeni come le aurore e le code cometarie.

Via Lattea Fascia lattiginosa costituita dalle stelle visibili della galassia di cui fa parte il Sistema Solare.

Zenit Punto della sfera celeste che si trova prolungando verso l'alto la direzione del filo a piombo.

Zodiaco Cintura di costellazioni (Ariete, Toro, Gemelli, Cancro, Leone, Vergine, Bilancia, Scorpione, Ofioco, Sagittario, Capricorno, Acquario, Pesci) attraversate dal Sole in tempi differenti nel suo moto annuo. I segni zodiacali usati dagli astrologi sono 12, manca l'Ofioco, e occupano esattamente 30° dell'eclittica ciascuno.

BIBLIOGRAFIA

Gli argomenti trattati in questa guida sono stati solamente sfiorati: la bibliografia che segue cerca di offrire un necessario approfondimento dei vari argomenti a diversi livelli.

Il simbolo **(E)** indica un primo livello, pari al grado di istruzione tipico di chi ha completato la scuola media inferiore.

Il simbolo **(M)** indica opere che richiedono un grado di istruzione tipico della scuola media superiore.

Il simbolo **(U)** distingue opere approfondite a livello universitario.

ALMANACCO

De Donà G., *Almanacco Astronomico UAI 2024*, Amazon **(M)**.

ASTROFISICA STELLARE

Monaco P., *Introduzione all'astrofisica*, Aracne **(U)**.

Romano G., *Evoluzione delle stelle*, Canova **(M)**.

ASTRONOMIA GENERALE

Ridpath I., Kindersley D., *Astronomia*, Mondadori **(E)**.

ATLANTI E CATALOGHI

In Internet sono reperibili atlanti stellari e planetari digitali con ampia scelta delle caratteristiche desiderate. *Stellarium* e *Carte du Ciel* sono due esempi.

COSMOLOGIA

Lucchin F., *Introduzione alla cosmologia*, Zanichelli **(M)**.

IL SISTEMA SOLARE

Encrenaz T., Bibring J.P., Blanc M., e altri, *The Solar System*, III Ed. Springer **(E)**.

IL SOLE

Lang K. R., *The Cambridge Encyclopedia of the Sun*, Cambridge

Univ. Press **(U)**.

LA LUNA

Wood C.A., *The modern Moon, a personal view*, Sky Pub. Corp. **(E)**.

MECCANICA CELESTE

Capaccioli M., *Foundations of Celestial Mechanics*, Ed. Springer **(U)**.

Meeus J., *Astronomical Algorithms* **(M)**.

MITOLOGIA

Guiderizzi G., *I miti delle stelle*, Cortina Ed. **(E)**.

STORIA DELL'ASTRONOMIA

Abetti G., *Storia dell'astronomia*, Vallecchi **(E)**.

Rigutti M., *Storia dell'astronomia occidentale*, Giunti **(E)**.

Hoskin M., *Storia dell'astronomia*, BUR Rizzoli **(E)**.

LINK UTILI

- Unione Astrofili Italiani
<https://www.uai.it/sito/>
- International Astronomical Union IAU
<https://www.iau.org>
- Digital Museum of Planetary Mapping
<http://planetariummapping.elte.hu>

Atlanti stellari disponibili on line e scaricabili in PDF

- Sky And Telescope's Pocket Sky Atlas PDF Room
<https://archive.org/details/sky-and-telescopes-pocket-sky-atlas-pdf-room/Deep-Sky-Hunter-atlas-full/>
- Sky And Telescope's Pocket Sky Atlas PDF Room
<https://archive.org/details/sky-and-telescopes-pocket-sky-atlas-pdf-room/Sky%20and%20Telescope%27s%20Pocket%20Sky%20Atlas%20-%20PDF%20Room/>
- The Night Sky Maps
<https://archive.org/details/sky-and-telescopes-pocket-sky-atlas-pdf-room/TheNightSkyMaps-10charts-A4/>
- Sky Atlas 2000. 0
<https://dn720003.ca.archive.org/0/items/sky-atlas-2000.-0/Sky%20Atlas%202000.%200.pdf>
- Luna. Un percorso di indagine tra testi e contesti. Giancarlo Favero, Lucia Mazzilli, Giorgio Mengoli
<https://flipbookpdf.net/web/site/dac2c9143700db5c5737c15f87227cd0400d7656FBP30660875.pdf.html>
- Astronomia Popolare: Flammarion, Camille
<https://archive.org/details/flammarion-astronomia-popolare/page/n15/mode/2up>
- Compendio d'astronomia colle tavole astronomiche del signor De La Lande dell'Accademia reale delle scienze di Parigi
https://archive.org/details/bub_gb_UUPbf0TcwhgC/page/n19/mode/2up

INDICE ANALITICO

A

Afelio 37
Airy, disco di 103
Alba, istante dell' 27, 34, 45
Altezza di un astro 46
Ammassi stellari 102
Angolo orario 67
Anno:
 bisestile 38
 luce 25
 siderale 31
 tropic 38
Anti-circumpolari, stelle 33, 115
Arato da Soli 115
Aristarco da Samo 6
Aristotele 6
Ascensione Retta 29
Assorbimento interstellare 97
Astrologia 4
Atmosfera:
 della Terra 12
 di Giove 21
 di Marte 18
 di Saturno 22
 di Venere 10
Aurore polari 92
Azimut di un astro 47

B

Banda zodiacale 92
Barlow, lente di 63
Bayer, Uranometria di 115
Big Bang 7

Binocolo 61
Bolide 89
Buco Nero 100

C

Cassini, Gian Domenico 89
Cerchi orari 28
Circumpolari, stelle 33, 115, 120
Comete:
 e stelle cadenti 89
 fotografia 94
 morfologia 98
 osservazione 94
Congiunzione 50
Copernico, Nicolò 6
Costellazioni:
 autunnali 124
 descrizione 119
 estive 123
 invernali 126
 mitologia 116
 origine 115
 primaverili 128
 storia 118
 suddivisione moderna 119
Crepuscolo 67
Culminazione 41

D

Declinazione 28
Deferente 48
Delporte 119
Dicotomia 51

Distanze stellari 25, 114

E

Eclissi 55
Eclittica 35
Effemeridi:
 del Sole 48
 dei pianeti 48
 di stelle variabili 110
Einstein, Albert 7
Ellisse 10
Elongazione 50
Epatta 56
Ep cicli 48
Equatore:
 celeste 29
 terrestre 28
Equazione del tempo 44
Equinozi 36
Eratostene di Cirene 5
Eudosso di Cnido 115

F

Fascia di Kuiper 89
Fase 51
Fotografia:
 con macchina fotografica 73
 diffusione dell'immagine 103
 dimensioni al fuoco 73
 ingrandimento con Barlow 63
 ingrandimento con oculare 60, 73
 rapporto focale effettivo 61
 strumenti 58

tecnica 73
 Fuoco:
 di un'ellisse 10
 di una lente 58
 Fusi orari 44

G

Galassia (v. Via Lattea)
 Galassie:
 ammassi di 27
 distanze 114
 fotografia 114
 gruppo locale 27
 osservazioni 114
 Galilei, Galileo 6
 Gergenshein 92
 Gigante rossa 102
 Giove:
 anelli
 caratteristiche 21, 84
 fotografia 86
 Macchia Rossa 22, 84
 nomenclatura 85
 osservazioni 85
 satelliti 81
 sistemi di rotazione 85
 Gravitazione 56, 83
 Greenwich 66

H

Hertzsprung-Russell, diagramma 97
 Hubble, Edwin 7, 144

K

Keplero, Giovanni 8, 16, 20, 37
 I legge 10

II legge 37
 III legge 20

I

Ipparco 45

L

Lacchini, Giovanni Battista 104
 Latitudine terrestre 28, 45
 Longitudine terrestre 29
 Luce, velocità della 7, 25
 Luna 17, 73
 bordo 53
 descrizione 73
 evezione 54
 fasi 52
 fenomeni temporanei 79
 forze gravitazionali sulla 54
 gobba 53
 librazioni 57
 luce cinerea 74
 mese draconico 55
 mese siderale 53
 mese sinodico 52
 moti 51
 nomenclatura 74
 occultazioni 81
 osservazioni 73
 terminatore 74

M

Magnitudine:
 apparente 95
 assoluta 97
 delle comete 94
 delle stelle 105
 errori di stima 106

relazione di Pogson 96
 stima visuale 105

Marte:

calotte polari 18, 83
 caratteristiche 18, 84
 mappa 84
 opposizioni 83
 osservazioni 83
 possibilità di vita 23
 rotazione 18, 83
 satellite Deimos 19
 satellite Phobos 19
 stagioni 38, 83

Mercurio:

caratteristiche 8
 elongazioni 50
 osservazioni 81

Meridiano:

centrale 83
 locale 30

Meteorite 89

Mitologia 116

Momento angolare 98

Moti apparenti:

Luna 51
 Pianeti 48
 sfera celeste 4, 27
 Sole 41

Moto:

diretto 49
 medio 57
 retrogrado 49

N

Nadir 41
 Nana Bianca 100
 Nebulose:

a emissione 100
a riflessione 100
contrazione 99
momento angolare 98
oscure 102
planetarie 62
rotazione 99
Nettuno:
 caratteristiche 88
 osservazioni 88
Newton, Isacco 7, 59
Nodi 49
Numero aureo 56
Nutazione 39

O

Obiettivo 58
Occultazioni 81
Oculari 62
Oort, nube di 92
Opposizione 49
Orizzonte 27
Osservazione:
 dai poli terrestri 30
 da latitudine intermedia 31
 dall'equatore 30
 lungo un anno 34
 luogo di 28
 preparazione all' 66
 previsione 66
 tecnica 68

P

Parallasse 25
Parsec 25
Penzias, Arno 7

Perielio 37
Pianeti:
 congiunzione 50
 congiunzione inferiore 50
 congiunzione superiore 50
 craterizzazione 17, 77, 99
 densità 22
 dicotomia 51
 elongazione 50
 fase 6, 50, 51
 moto apparente 29, 41, 48
 nascita 98
 raggio vettore 37

Pianetini 89
Piazzi, Giuseppe 21
Pitagora 5
Planetesimi 78
Planck, Max 24
Plutone:
 caratteristiche 23
 osservazioni 8
 satelliti 89
Pogson, relazione di 96
Polare, stella 28, 36
Polo Nord Celeste 30
 altezza sull'orizzonte 30
Polo Nord terrestre 29, 120
Polvere interstellare 100
Precessione 39
Purkinie, effetto 106
Punto d'ariete 29
 e precessione 124

Q

Quadrante solare 41
Quadratura 50

R

Riccioli e nomenclatura lunare 75

S

Saturno:
 anelli 87
 caratteristiche 86
 macchie e rotazione 87
 nomenclatura 87, 88
 osservazioni 86
 satelliti 86
Scintillazione 103
Sequenza Principale 98
Sistema eliocentrico 6
Sistema geocentrico 6
Sistema Solare:
 anelli 22
 caratteristiche 7, 23
 craterizzazione 17, 77, 99
 dimensioni 6, 23
 nascita 78
Sole:
 altezza e azimut 36, 42, 46
 attività 70
 brillamenti (flares) 70
 composizione 24
 culminazione 41
 dimensioni 7
 energia 7
 facole 70
 fotografia 69
 fotosfera 7
 macchie solari 69
 magnitudine assoluta 97
 moti apparenti 4, 41
 nascita 98

numero di Wolf 71
 osservazioni 69
 posizione nella Via Lattea 26
 protuberanze 70
 rotazione 72
 sorgere e tramontare 45
 temperature nel 7
 vento solare 8
 Solstizi 4, 30
 Speckle Interferometry 103
 Spettroscopia 24
 Stagioni 37
 su Marte 38
 Stelle:
 buchi neri 100
 collasso gravitazionale 100
 di neutroni 100
 distanza 25
 doppie 112
 fotografia 103
 fusione dell'elio 100
 fusione dell'idrogeno 7, 99
 luminosità 96
 magnitudine 96
 morte 100
 nascita 98
 nomenclatura 119
 popolazioni
 variabili 104, 119
 Stelle cadenti 89
 Stelle variabili:
 curva di luce 105
 nomenclatura 106
 stelle di confronto 105
 stime di magnitudine 105
 strumenti 104

studio fotografico 103
 tempo eliocentrico 112
 uso delle effemeridi 110
 Storia dell'astronomia (cenni) 4
 Strumenti 58
 confronto rifrattore-riflettore 62
 ingrandimenti 61
 montatura 62, 64
 pupilla d'uscita 59
 qualità dell'immagine 103
 regolazione di una montatura 64
 riflettori 59
 rifrattori 59
 Supernovae 114

T

Talete di Mileto 5
 Tempo:
 civile 44
 eliocentrico 112
 legale 45
 siderale 35
 solare medio 34
 solare vero 31
 universale 44
 Terra:
 asse di rotazione 28
 caratteristiche 12, 99
 coordinate locali 28
 dinamica crostale 12, 99
 forma 27
 misura della circonferenza 5
 moti 27
 Tycho Brahe 20
 Titius-Bode, legge di 20
 Tolomeo, Claudio 115

Tramonto, istante del 45
 Tropici 36
 Turbolenza atmosferica 69

U

Unità Astronomica 25
 Universo 4, 7, 95
 Urano 22, 86, 88

V

Venere:
 atmosfera 82
 caratteristiche 10
 elongazioni 50
 transiti 50
 Vento solare 92
 Via Lattea 6, 91, 126
 Vulcanesimo 99

W

Wilson, Robert 7

Z

Zenit 29
 Zodiaco 35

NOTE BIOGRAFICHE DEGLI AUTORI

GIANCARLO FAVERO è nato a Venezia dove, all'età di 13 anni, ha iniziato l'osservazione del cielo.

Con un cannocchiale di 5 cm (in realtà diaframmato a 2,5 cm perché l'obiettivo era una lente semplice) ha tracciato una mappa lunare contenente oltre 250 crateri e le principali formazioni montagnose. Alle scuole superiori, ha conosciuto Guido Ruggieri, dal quale è stato guidato prima nella costruzione di un riflettore di 17 cm di diametro e, poi, nel suo utilizzo nell'osservazione dei pianeti, soprattutto Giove e Marte, e della Luna.

Nel 1970 ha incontrato Italo Dalmeri con il quale ha iniziato una collaborazione trentennale rivolta allo studio di alcune stelle variabili, prima mediante fotografia, con opportune combinazioni di filtri e di emulsioni fotografiche, poi mediante spettrografia a bassa risoluzione con un CCD lineare.

Nel 1975, insieme con i professori Rosino e Romano e con l'amico Ruggieri, ha riproposto l'attività della Sezione Triveneta della Società Astronomica Italiana (SAIt) che, in riunioni periodiche tenute a Padova e in altre città del Veneto (Trevise, Oderzo), ha riunito e stimolato centinaia di astrofili del nord-est.

Dalla fine degli Anni Settanta ai primi Anni Novanta, con la collaborazione del Prof. Romano, ha associato a questa organizzazione i Seminari di Studio sulle Stelle Variabili, svolti in maniera residenziale nel Centro Don Chiavacci di Crespano del Grappa.

Ha fatto parte, per due mandati, sia del Consiglio Direttivo della SAIt, sia di quello dell'Unione Astrofili Italiani (UAI), dove ha ricoperto anche la carica di Responsabile del-

le Sezioni Giove e Comete e, per tre mandati, quella di Presidente.

Ha scritto due libri di Astronomia, uno nel 1984 dal titolo *Guida all'osservazione del cielo* per Mondadori, e uno nel 1986 dal titolo *Evoluzione del Sistema Solare* per Curcio, oltre a una cinquantina di articoli apparsi su riviste del settore italiane, francesi, inglesi e americane (*l'Astronomie*, *Journal of the British Astronomical Association*, *The strolling astronomer ALPO*). Ha tenuto, inoltre, qualche centinaio di conferenze divulgative in quasi tutte le regioni d'Italia. In ambito divulgativo si è anche occupato della rivista *Astronomia UAI*, in qualità di coordinatore editoriale e della rivista *l'astronomia*, in qualità di referente scientifico.

Dopo il pensionamento come Professore Associato di Chimica all'Università di Padova, ha promosso la costruzione dell'Osservatorio Astronomico del Celado (Castello Tesino, TN) che ha gestito dall'inaugurazione, nel 2010, fino al 2020.

Giancarlo Favero: faverogian@gmail.com

LUCIA MAZZILLI, nata a Milano, laureata in Lettere e Filosofia, è giornalista pubblicista dal 1988 e giornalista professionista dal 2010. Negli anni ha sviluppato una professionalità anche in ambito grafico utilizzando i software di impaginazione ed elaborazione immagine impiegati in editoria. Ha lavorato per numerose testate giornalistiche e per diverse case editrici. Si è dedicata, con diverse mansioni, al mensile *l'astronomia* dal 1989 al 2005. Attualmente lavora come libera professionista.

Lucia Mazzilli: elle.mazzilli@gmail.com

INDICE

PREMESSA	2	URANO E NETTUNO	88
INTRODUZIONE ALL'ASTRONOMIA	4	CORPI MINORI DEL SISTEMA SOLARE	89
CENNI DI STORIA	4	PIANETINI	89
L'UNIVERSO INTORNO A NOI	7	FASCIA DI KUIPER	89
MERCURIO	8	METEORE	89
VENERE	10	LUCE ZODIACALE	91
TERRA	12	AURORE	92
MARTE	18	COMETE	92
GIOVE	21	ULTERIORI RICERCHE	94
SATURNO, URANO E NETTUNO	22	OSSERVAZIONI NELL'UNIVERSO	95
PLUTONE	23	CARATTERISTICHE DELLE STELLE	95
I MOTI DELLA TERRA	27	NEBULOSE GALATTICHE	100
IL MOTO DEL SOLE	41	AMMASSI STELLARI	102
CALCOLO DELLA CULMINAZIONE DEL SOLE	44	LE STELLE	103
DETERMINAZIONE DEGLI ISTANTI		TIPI DI STELLE VARIABILI	106
DELL'ALBA E DEL TRAMONTO	45	USO DELLE EFFEMERIDI	110
CALCOLO DELL'ALTEZZA E DELL'AZIMUT DEL SOLE	46	STELLE DOPPIE	112
IL MOTO DEI PIANETI	48	GALASSIE	113
I MOTI DELLA LUNA	51	LE COSTELLAZIONI	115
GLI STRUMENTI DI OSSERVAZIONE	58	ORIGINI	115
IL BINOCOLO	61	LA MITOLOGIA DELLE COSTELLAZIONI	116
I TELESCOPI	62	LE COSTELLAZIONI OGGI	119
GLI OCULARI	62	LE COSTELLAZIONI CIRCUMPOLARI NORD	120
LE MONTATURE	64	COSTELLAZIONI PRIMAVERILI	122
CAMERE ELETTRONICHE	65	COSTELLAZIONI AUTUNNALI	124
OSSERVAZIONI NEL SISTEMA SOLARE	66	COSTELLAZIONI INVERNALI	126
GENERALITÀ SULLE OSSERVAZIONI	66	CONCLUSIONI	127
PREPARAZIONE ALL'OSSERVAZIONE	66	MAPPE LUNARI	128
OSSERVAZIONI DEL SOLE	69	MAPPE CELESTI	135
OSSERVAZIONI DELLA FOTOSFERA	71	GLOSSARIO	144
OSSERVAZIONI DELLA LUNA	73	BIBLIOGRAFIA	150
OSSERVAZIONE DI PIANETI	81	LINK UTILI	151
MERCURIO	81	INDICE ANALITICO	152
VENERE	82	NOTE BIOGRAFICHE DEGLI AUTORI	156
MARTE	82	INDICE	157
GIOVE	84		
SATURNO	86		