

II

Nel sistema solare

I PIANETI VICINI AL SOLE

Il Sole, prima tappa del nostro viaggio, non è soltanto un'enorme macchina dove si fabbricano gli elementi e si produce energia, ma è anche il centro di attrazione di un vasto sistema di corpi celesti che gli circolano intorno a varie distanze e da esso ricevono luce e calore. Uno di questi corpi è la Terra, il mondo da noi abitato.

Come tutti sanno, di pianeti simili alla Terra, anche se di dimensioni diverse, se ne conoscono altri otto (FIGG. 17 e 18). Oltre a questi corpi maggiori fanno parte del regno del Sole anche centinaia di pianetini minuscoli, numerose comete e sciami di polveri e meteorie. La parte dello spazio nella quale si aggirano tutti questi corpi sarà quella che esploreremo per prima, cominciando dai pianeti maggiori, che raggiungeremo a uno a uno, partendo dal più vicino al Sole e spostandoci sempre più verso l'esterno del sistema solare fino a Plutone, il più lontano pianeta conosciuto.

Mercurio

Il pianeta più vicino al Sole è Mercurio, una sfera del diametro di 4880 km, cioè più grande della Luna ma molto più piccola della Terra. Ha una massa che è appena 5,4 centesimi di quella terrestre; una densità 5,5 volte quella dell'acqua e gira intorno al Sole a una distanza media di 57,9 milioni di chilometri, compiendo una rivoluzione ogni 88 giorni.

Mercurio ruota intorno al proprio asse ma molto lentamente. Fino a pochi anni fa era comunemente accettato il valore di 88 giorni, trovato da G. Schiaparelli alla fine del secolo scorso e confermato da successive osservazioni. In tal caso, essendo uguali i periodi di rivoluzione e di rotazione,

Mercurio avrebbe mostrato al Sole sempre lo stesso emisfero, come fa la Luna con la Terra. Nel 1965, invece, gli studiosi di Arecibo, inviando radioimpulsi verso Mercurio e studiando il comportamento delle onde riflesse dal pianeta, trovarono un periodo di rotazione di 59 giorni. Oggi il periodo accettato per la rotazione di Mercurio è quello di 58,65 giorni, suggerito da G. Colombo e ulteriormente confermato da altre osservazioni radar e dal Mariner 10. Con questo periodo il pianeta viene a compiere tre rotazioni esatte intorno al suo asse ogni due rivoluzioni intorno al Sole.

Valendo questo nuovo risultato, Mercurio non espone al Sole sempre lo stesso emisfero ma, data la lunghezza del periodo di rotazione, l'avvicinamento del giorno e della notte è lentissimo e la differenza di temperatura tra i due emisferi deve essere molto forte. Infatti, secondo le più recenti osservazioni, l'emisfero illuminato risulta avere, intorno al mezzogiorno, una temperatura di $+350^{\circ}\text{C}$ mentre quello oscuro si trova a -170°C .

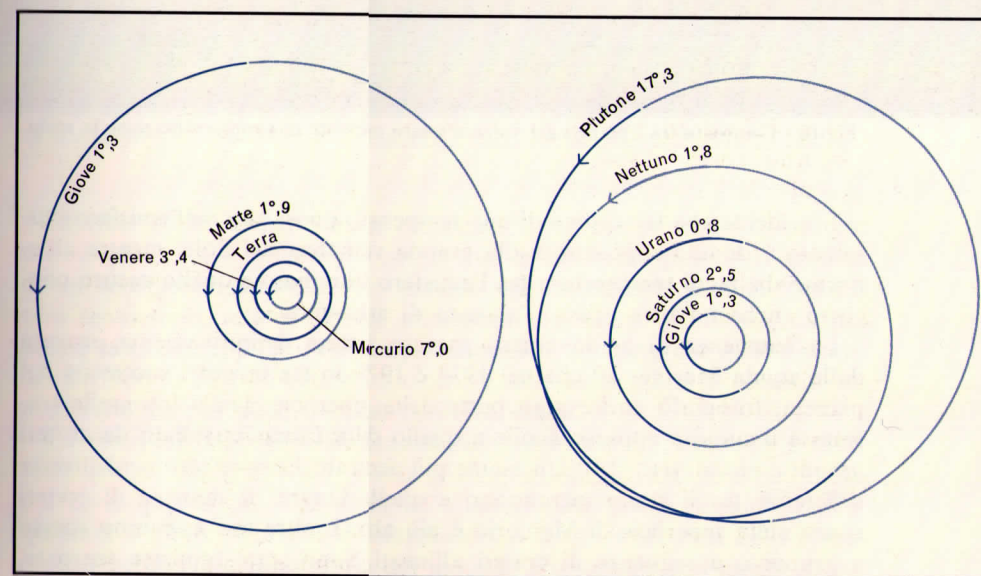


Fig.17 La parte interna (a sinistra) e la parte esterna (a destra) del sistema solare. I pianeti si muovono tutti nella stessa direzione su orbite quasi circolari che sono praticamente contenute nello stesso piano, salvo quella di Plutone che è inclinata di $17^{\circ},3$. L'inclinazione degli altri pianeti rispetto al piano dell'orbita terrestre (eclittica) è indicata a fianco di ciascun nome, mentre la parte di traiettoria che si trova al di sopra di essa è indicata in colore pieno (quella al di sotto in colore chiaro). Le orbite degli asteroidi (che non sono state qui illustrate) sono invece molto più eccentriche di quelle dei pianeti e giacciono tra l'orbita di Marte e quella di Giove (si veda la Fig. 24). La parte interna del sistema solare è stata qui disegnata in una scala circa 7,5 volte maggiore di quella relativa alla parte esterna.

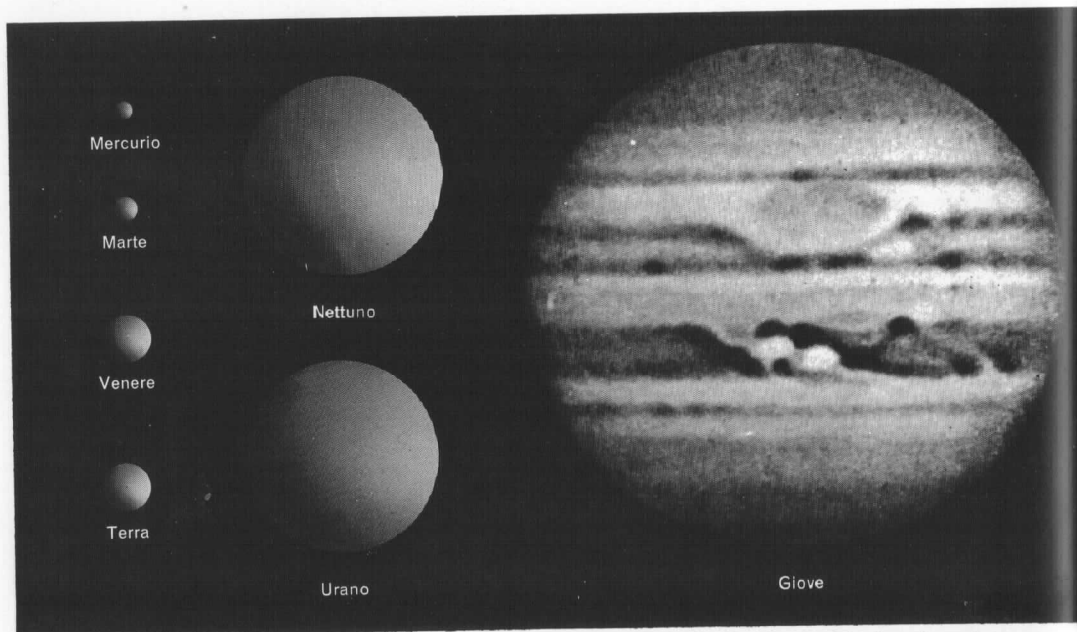
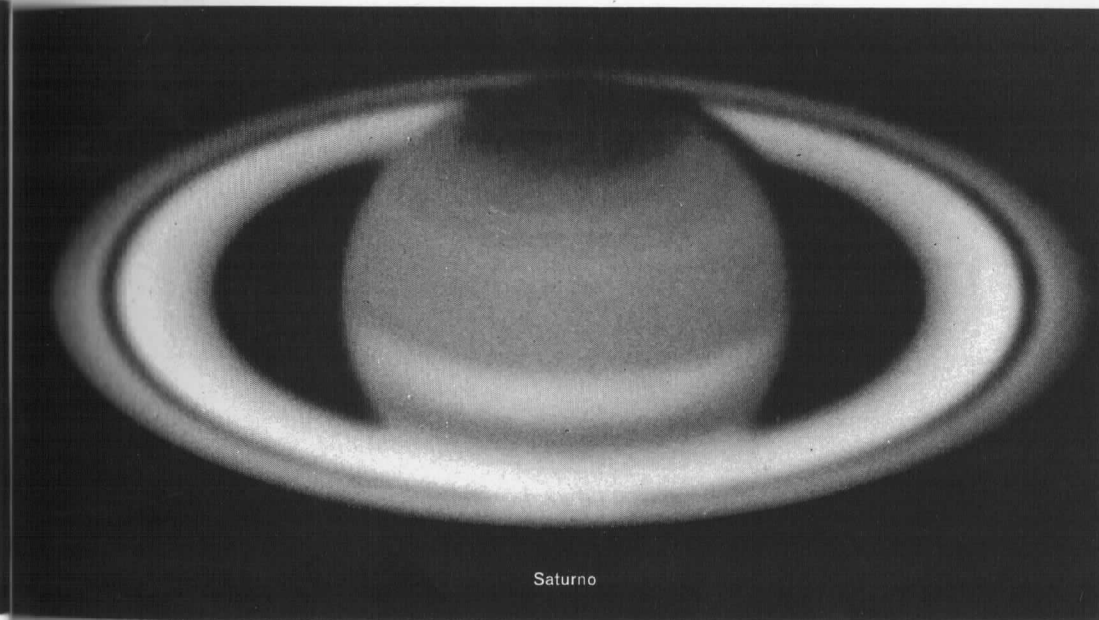


Fig.18 Confronto fra i pianeti del sistema solare mediante una rappresentazione in scala.

È evidente che la ragione di una temperatura così alta nell'emisfero illuminato è dovuta soprattutto alla grande vicinanza del Sole, mentre all'enorme sbalzo di temperatura tra l'emisfero illuminato e quello oscuro concorre anche un'altra causa: l'assenza di atmosfera.

La mancanza di un involucro gassoso è stata definitivamente provata dalla sonda Mariner 10 che nel 1974 e 1975, in tre incontri successivi col pianeta, fotografò anche gran parte della superficie. Dalle fotografie trasmesse il suolo è apparso simile a quello della Luna: crivellato da crateri grandi e piccoli (FIG. 19). Un esame più accurato ha mostrato però diverse differenze tra il suolo mercuriano e quello lunare. Il numero di crateri sparsi sulla superficie di Mercurio è più alto. Inoltre essi appaiono spesso a gruppi o a sequenze di crateri allineati. Sono state scoperte scarpate, che sembra si formarono durante un lungo periodo in cui la crosta del pianeta si accorciò a causa del raffreddamento e della contrazione di un grande nucleo di ferro che si pensa costituisca la struttura interna.

Né i crateri più antichi, che si ritiene risalgano a 3-4 miliardi di anni fa, né, a più forte ragione, quelli più recenti, mostrano traccia di un'erosione superficiale e ciò proverebbe che Mercurio non ha mai avuto un'atmosfera, neppure tenue, almeno dall'epoca in cui si formarono i primi crateri.



In tale rappresentazione Plutone non compare a causa dell'incertezza delle sue dimensioni.

Mariner 10 ha scoperto anche l'esistenza di un campo magnetico molto debole (da 3,5 a 7 millesimi di gauss) ma sufficiente a spiegare l'esistenza di un sottilissimo strato di elio gassoso che circonda il pianeta. Questo velo tenuissimo, infatti, sarebbe alimentato da nuclei di elio emessi dal Sole e catturati, appunto, dal campo magnetico. È chiaro che questo strato di elio non si può chiamare atmosfera e non ha neppure il requisito di moderare, sia pur poco, l'infuocata sferza solare.

La distribuzione della temperatura alla superficie di Mercurio è piuttosto strana. Passando dal giorno alla notte c'è un salto enorme, tanto più forte quanto più si è vicini all'equatore. Ma anche restando sull'equatore, ci sono differenze di temperatura notevoli a seconda della longitudine, perché la combinazione del moto di rivoluzione con quello di rotazione produce uno strano fenomeno. Alle longitudini di 90° e 270° il Sole sorge, culmina e tramonta regolarmente, anche se con grande lentezza a causa della lunghezza del giorno mercuriano. Per queste due longitudini il 'mezzogiorno' si verifica all'afelio, cioè in corrispondenza di quel punto dell'orbita in cui il pianeta è più distante dal Sole e percorre l'orbita più lentamente. Alle longitudini di 0° e 180°, invece, il mezzogiorno si verifica in corrispondenza del perielio, quando il pianeta è più vicino al Sole e

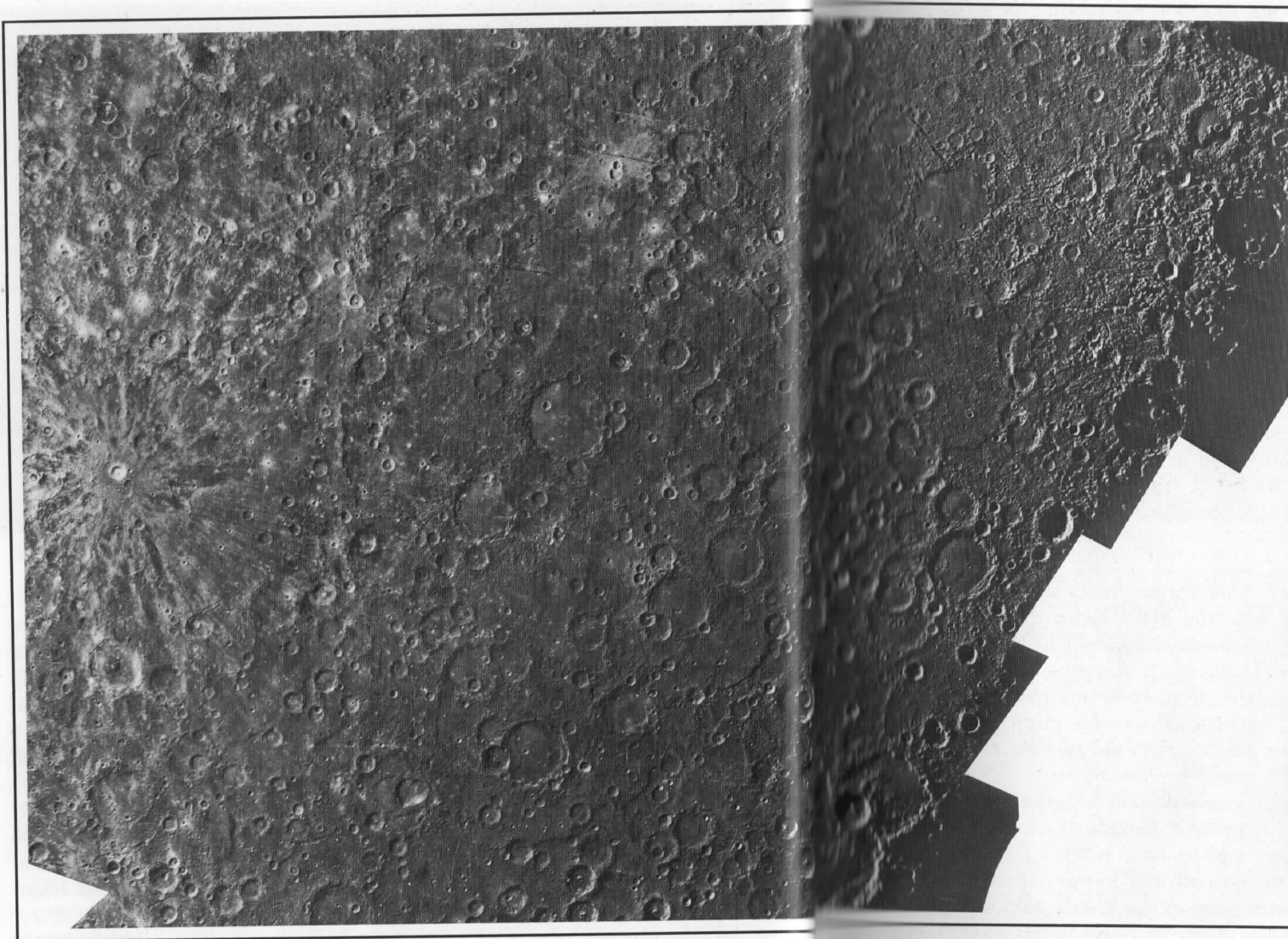


Fig.19 Una veduta generale del suolo di Mercurio fotografato dal Mariner 10, ottenuta componendo diverse fotografie e sottoponendo l'immagine finale a un processo di spianamento, in modo da eliminare le distorsioni prospettiche dovute alla curvatura della superficie del pianeta. Si noti la grande rassomiglianza col suolo lunare, ricco di crateri (NASA).

percorre l'orbita più rapidamente, addirittura con una velocità angolare orbitale superiore alla velocità angolare di rotazione.

A causa di questo fatto, trovandoci alla longitudine di 0° o di 180° , assisteremmo a uno strano fenomeno. All'avvicinarsi del mezzogiorno il Sole rallenta nel suo moto attraverso il cielo fino a fermarsi e addirittura

a tornare indietro; dopo aver percorso un breve tratto in senso inverso appare fermarsi di nuovo e infine riprende a muoversi nel senso diretto, dapprima lentamente poi sempre più rapidamente finché tramonta. Questo indugiare del Sole, nel momento più caldo della giornata e proprio nei giorni in cui Mercurio gli è più vicino, rende le zone intorno alle longitudini

di 0° e 180° particolarmente infuocate. Qui la temperatura giunge, in quei giorni, fino a 430°C e il suolo deve essere talmente infuocato che, anche al disotto della superficie, la temperatura deve essere sempre superiore a 0°C . Nelle zone polari, invece, si ritiene che la temperatura al disotto della superficie sia molto inferiore a quella di congelamento dell'acqua. Nel sottosuolo di quelle zone, dunque, vi potrebbe essere acqua anche sull'infernale Mercurio. Ma c'è di più. In prossimità dei due poli sono stati scoperti piccoli crateri a pareti ripide che riparano permanentemente dal Sole le aree ai loro piedi. Se in qualche remota epoca fossero fuoriuscite dall'interno di Mercurio sostanze volatili, come anidride carbonica o vapore acqueo, queste zone avrebbero potuto intrappolarle mantenendole allo stato di ghiaccio fino ad oggi.

A parte queste particolarità, le condizioni in cui si trova Mercurio sono molto simili a quelle della Luna: un mondo arido, senza vita, bruciato da un Sole enorme, il cui diametro apparente varia, secondo la distanza di Mercurio, da $67'$ a $104'$, cioè da poco più del doppio di come appare visto dalla Terra, fino a tre volte e mezzo.

Lasciamo dunque senza rimpianti un mondo così inospitale per il nostro corpo e non troppo eccitante per la fantasia e, allontanandoci ancora dal Sole, ci avvicineremo al secondo pianeta, Venere.

Venere

A un primo sguardo Venere sembra un corpo celeste molto simile alla Terra. Ha un diametro di 12 235 km, una massa quasi uguale a quella terrestre (0,815 masse terrestri) e una densità media rispetto all'acqua appena inferiore a quella del nostro pianeta (5,2). Si muove intorno al Sole alla distanza di 108 milioni di chilometri, compiendo una rivoluzione completa ogni 224,7 giorni terrestri. Secondo alcuni dei primi osservatori, Venere somigliava alla Terra anche per la durata del periodo di rotazione intorno all'asse polare, che doveva essere di circa 24 ore.

Proprio su questo punto, però, si manifestarono le prime profonde divergenze, poiché altri astronomi trovarono periodi di rotazione molto lunghi, in completo disaccordo con i primi.

La ragione di questa contraddizione fu attribuita essenzialmente al fatto che Venere, al telescopio, non mostra punti di riferimento ben precisi come la Luna, che non ha atmosfera, o Marte, che ne possiede una molto tenue. Il disco di Venere, che, a causa della particolare posizione rispetto alla Terra e al Sole, visto dal nostro pianeta mostra fasi simili a quelle lunari, appare bianchissimo e solo in certi momenti un occhio particolarmente attento può scorgervi anche alcune sfumature oscure, prive di un contorno definito. Per diverso tempo gli astronomi hanno lungamente discusso se queste macchie fossero stabili o no e, soprattutto, se potessero considerarsi

come particolari della crosta solida al di sotto di una spessa coltre atmosferica. Oggi, attraverso le osservazioni spettroscopiche, i contatti radar e le esplorazioni compiute dalle sonde spaziali, siamo sicuri che Venere ha, come la Terra, una crosta solida ma è circondata anche da una pesante atmosfera.

Dai contatti radar effettuati in questi ultimi anni, è risultato, prima di tutto, che il diametro del pianeta è di 12 066 km, inferiore cioè a quello



Fig.20 Il pianeta Venere fotografato nell'ultravioletto dal Mariner 10. È evidente la strana distribuzione delle nubi di alta quota. Le bande scure non corrispondono al suolo, ma alle regioni inferiori dell'atmosfera, che non sono ulteriormente trasparenti (NASA).

precedentemente trovato in base alle osservazioni ottiche. È evidente che, mentre quest'ultimo include l'atmosfera, che riflette la luce solare prima che possa raggiungere il suolo, quello ricavato col radar deve riguardare proprio il suolo, che le radioonde devono urtare per poter essere rinviate sulla Terra. Essendo la differenza tra i due diametri di 129 km, l'atmosfera viene ad avere uno spessore di circa 65 km. I contatti radar col suolo hanno permesso di scoprire anche che il pianeta Venere ruota intorno al proprio asse, in senso retrogrado, in 243 giorni. Questo risultato è in netto disaccordo col periodo, di appena 4 giorni ricavato per l'atmosfera e confermato dalle osservazioni compiute nel febbraio 1974 dalla sonda Mariner 10 che eseguì fotografie del pianeta da breve distanza.

I due risultati si possono conciliare in un solo modo: con l'esistenza di venti fortissimi in virtù dei quali l'atmosfera (o almeno la sua parte più alta, da noi fotografata) scorre rispetto alle zone più basse o addirittura sul suolo. Dalla differenza tra le due rotazioni si otterrebbero venti con velocità di quasi 400 km/ora. Infatti la sonda sovietica Venera 8, che atterrò su Venere il 22 giugno 1972, misurò una velocità di oltre 360 km/ora alla quota di 48 chilometri. Scendendo, però, il vento diminuiva continuamente; tra i 40 e i 20 km spirava costantemente a velocità intorno a 120 km/ora; tra i 14 e i 10 km cadeva rapidamente, in ragione di circa 18 km/ora per ogni kilometro di quota e, tra il livello del suolo e la quota di 10 mila metri, venne registrato un vento di appena 2 km/ora.

Le alte velocità, dunque, dominano solo gli strati alti dell'atmosfera e, quasi certamente, è proprio ad esse che è dovuta la strana disposizione delle nubi fotografate da Mariner 10 (FIG. 20). Questa sonda è stata l'unica a mostrarci Venere come appare da vicino, fotografandola fino a una distanza minima di 5800 chilometri, ma non la sola che ha esplorato Venere. Dal 1961 al 1975 ben 14 sonde (10 sovietiche e 4 americane) sono state inviate su Venere, dove hanno compiuto importantissime scoperte riguardanti l'atmosfera e persino il suolo, sul quale diverse sonde sovietiche sono riuscite ad atterrare. Pure le sonde hanno confermato che l'atmosfera è molto più spessa e densa di quella terrestre e che impedisce di scorgere il suolo e di scoprirne l'aspetto. Ma hanno permesso anche di analizzarla e di ricavare le condizioni fisiche in cui si trova.

Il gas predominante è l'anidride carbonica. Così era risultato da osservazioni spettroscopiche già nel 1932 ed è stato confermato dalle prime sonde Venera, secondo le quali è presente nella misura del 97%. Il restante 3% si divide tra altri composti, tra i quali prevale l'ossido di carbonio. Il vapore acqueo è molto scarso, appena lo 0,1-0,2%, e si ritiene che sia presente, soprattutto, nella parte più bassa dell'atmosfera. L'ossigeno sembrava assente ma è stato rilevato dal Mariner 10 insieme all'idrogeno, all'elio e al carbonio, limitatamente agli strati più esterni.

Una simile atmosfera sarebbe per noi assolutamente irrespirabile. Inoltre le sue condizioni fisiche sono tali che non ci potremmo vivere neanche chiusi in uno scafandro alimentato da aria respirabile. Alla sommità delle nubi più alte, cioè a circa 80 chilometri dal suolo, la temperatura si aggira sui -20°C e la pressione è di appena 5 millesimi di atmosfera. Ma, scendendo, temperatura e pressione aumentano rapidamente; già all'altezza di una trentina di chilometri la temperatura ha raggiunto i 200°C e la pressione supera 7 atmosfere, mentre al livello del suolo la temperatura si aggira tra i 460 e i 480°C e la pressione è di 90 atmosfere, come quella dei nostri mari alla profondità di un kilometro.

In prossimità della superficie del pianeta, dunque, l'atmosfera deve essere in condizioni fisiche che possiamo appena immaginare: un fluido di densità un decimo di quella dell'acqua, 100°C più caldo del piombo fondente. Le sonde Venera 5 e Venera 6, costruite in modo da sopportare pressioni non superiori alle 25 atm, furono distrutte prima di riuscire a raggiungere il suolo.

L'altissima temperatura si spiega con l'«effetto serra» provocato dall'anidride carbonica atmosferica, che è trasparente per la radiazione visibile, come la luce, e opaca per l'infrarosso. Infatti la radiazione solare che giunge fino al suolo viene riemessa sotto forma di raggi infrarossi ma questi sono bloccati dall'anidride carbonica che viene ad agire, così, proprio come le vetrate d'una serra, che sono trasparenti per la luce e il calore che entrano ma non lasciano uscire l'aria all'interno dell'ambiente, che si scalda sempre di più.

Ancora più strane sono le nubi. Come era stato già osservato al telescopio, la struttura nuvolosa di Venere compare solo in radiazione ultravioletta, probabilmente a causa della distribuzione non omogenea di una sostanza che assorbe i raggi ultravioletti, presente nell'atmosfera. Osservato nel visibile, lo strato atmosferico esterno appare giallo e uniforme. Non si tratta dunque di nubi di acqua perché le nubi terrestri, formate dal vapore acqueo, sono bianche, non gialle e d'altra parte, come si è visto, il vapore acqueo è troppo scarso nell'atmosfera di Venere per poter essere la componente fondamentale delle nubi. Dalla distribuzione della temperatura atmosferica alle varie altezze, dai risultati sulla polarizzazione della luce riflessa dalle nubi e da calcoli che tengono conto di questi risultati si è concluso che le nuvole di Venere sono formate da minutissime goccioline di acido solforico. Più precisamente si tratterebbe di una soluzione acquosa contenente circa l'80% (in peso) di H_2SO_4 .

C'è ragione di ritenere che il numero di gocce per unità di volume cresca scendendo a livelli più bassi dell'atmosfera, finché le goccioline vengano a trovarsi abbastanza vicine tra loro da riunirsi insieme. Così mentre all'altezza di 80 km, alla sommità del sistema nuvoloso, la soluzione è

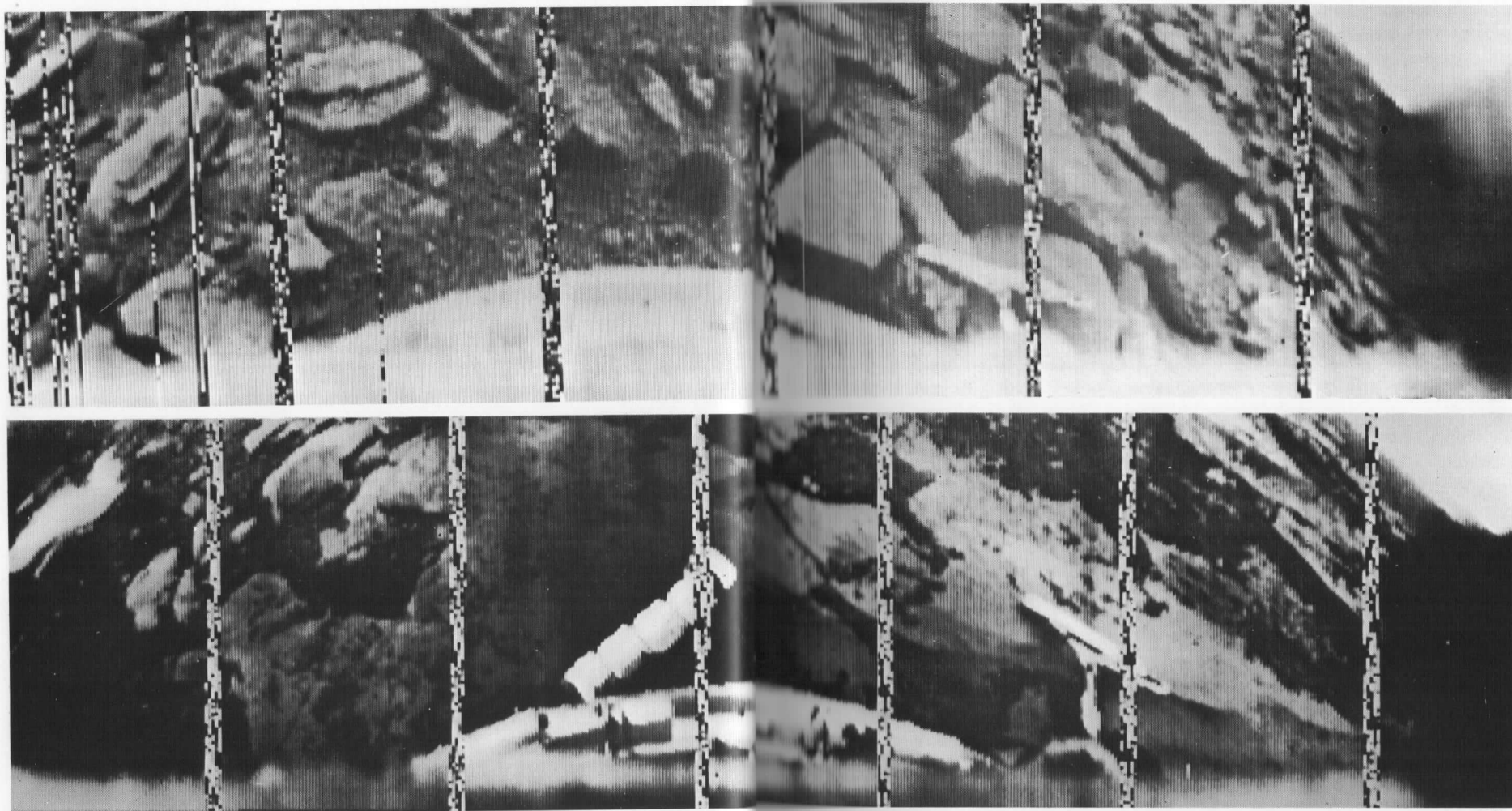


Fig.21 Il suolo di Venere fotografato da vicino: in alto dalla sonda Venera 9, qui sopra dalla sonda Venera 10, atterrate su Venere rispettivamente il 22 e il 25 ottobre 1975.

pressoché polverizzata, nel livello più basso, all'altezza di 30-40 chilometri, si può formare una vera e propria pioggia di acido solforico. Le gocce, cadendo, attraversano un'atmosfera sempre più calda; in tal modo l'acqua evapora dalla loro superficie, l'acido diventa sempre più concentrato e quando la pioggia raggiunge il suolo la concentrazione deve aggirarsi sul 98%. Inoltre è stato scoperto che l'atmosfera di Venere contiene anche,

Si notino le strane forme delle rocce, la nitidezza delle ombre e anche la trasparenza dell'atmosfera, cose che non erano state previste in base alle precedenti conoscenze del pianeta.

sia pure in piccole quantità, cloruro e fluoruro d'idrogeno che, reagendo con l'acido solforico, potrebbero formare acido fluorosolforico, un acido fortissimo, capace di attaccare e sciogliere quasi tutti i materiali comuni, tra cui la maggior parte delle rocce.

Un'atmosfera così infernale eccita molto la nostra fantasia nel tentativo d'immaginare il suolo e l'ambiente al livello della superficie plane-

taria. Purtroppo le nubi ci hanno sempre impedito un'osservazione diretta e generale. Ciò nonostante siamo riusciti a compiere osservazioni mediocri su vastissima scala, con il radar, e a fotografare abbastanza bene due piccolissimi tratti della superficie attraverso due sonde che sono riuscite a posarsi sul suolo. Col radar sono state messe in evidenza zone rugose, lisce, alte o basse. In una mappa ottenuta recentemente sono apparsi alcuni crateri, il più grande dei quali ha un diametro di 160 chilometri e un bordo alto appena 500 metri. Secondo queste ricerche sembra che Venere sia un pianeta piuttosto piatto, molto più liscio della Luna e di Mercurio, con scarsi dislivelli e pochissimi rilievi montuosi più alti di un chilometro.

La prima visione del suolo da vicino ci è stata data dalle due sonde sovietiche Venera 9 e Venera 10, atterrate il 22 e il 25 ottobre 1975, ciascuna delle quali ha effettuato una fotografia panoramica della zona intorno ad essa (FIG. 21). Benché i luoghi in cui atterrarono le due sonde fossero distanti 2200 chilometri, i tratti di superficie fotografati sembrano avere le stesse caratteristiche. Entrambi appaiono coperti di pietre, piuttosto piatte, con una superficie abbastanza chiara da riflettere bene la luce solare, per lo meno come la parte di acciaio della sonda che appare al centro delle due fotografie, in basso. Il terreno tra una pietra e l'altra è più scuro, come avviene per le superfici scabrose o ricoperte di polvere. Le pietre non appaiono accatastate ma sembrano distribuite uniformemente sulla superficie in modo da formare un solo strato, come se non provenissero da affioramenti geologici ma da una pioggia di materiale sparpagliato a caso sul pianeta.

Dal quadro offerto dall'atmosfera si era giunti a ritenere che il Sole non fosse visibile dalla superficie di Venere, che doveva essere coperta da un cielo plumbeo, scuro come il nostro cielo in una tetra giornata piovosa. Ma gli oggetti visibili nelle due fotografie proiettano ombre nette, come se il disco del Sole fosse ben visibile dalla superficie, almeno nel momento in cui furono scattate le fotografie. Questo risultato, e il fatto che la luce solare che raggiunge il suolo è più intensa del previsto, fanno pensare che l'atmosfera di Venere riservi ancora qualche sorpresa.

Per quanto riguarda il vento, la sonda Venera 10, come già Venera 8, non ha registrato, al livello del suolo, i terribili spostamenti d'aria dell'atmosfera superiore ma un leggero venticello di appena 12 km/ora. Tutto questo non significa che al disotto di un'atmosfera infernale si stenda un suolo paradisiaco. Quel venticello è in realtà di fuoco, al punto da spaccare le pietre, come alcune di quelle visibili nelle fotografie. Molte pietre appaiono arrotondate, forse per effetto delle piogge corrosive, e le stesse due sonde, benché costruite per operare in quelle condizioni, hanno resistito all'ambiente solo per 53 e 65 minuti, rispettivamente.

Per quanto ci sia ancora molto da scoprire, dunque, il quadro generale

rimane impressionante: un suolo piatto e arido, forse disseminato di laghi di lava sui quali galleggiano rocce semifuse, come mostruosi iceberg bollenti; un ambiente infuocato, illuminato da una luce rossa a causa del forte assorbimento atmosferico, scaldato da un Sole più grande di quello che vediamo dal nostro pianeta, che solo raramente affiora da un cielo perennemente scuro, carico di nubi spesse decine di chilometri, dalle quali cade una pioggia corrosiva. Neppure lo sguardo trova punti stabili sui quali appoggiarsi, perché l'alta densità e i forti moti convettivi verso l'alto e il basso devono provocare fenomeni di rifrangenza e distorsione impressionanti per i quali il paesaggio, di per sé già mostruoso, appare anche irreali e allucinante. L'inferno dantesco non giungeva a essere così terribile: dopo tutto era concepito a misura d'uomo.

Ma se usciamo fuori dall'atmosfera, oltre gli strati più densi, fino a vedere il cielo, allora scorgeremo nitidamente un grande Sole e, di notte, il cielo stellato che ci è familiare. Questo cielo ci sembrerà più bello del nostro, non solo perché siamo ancora sotto l'impressione del torbido inferno dal quale siamo usciti, ma anche perché è ornato da un astro splendido, azzurrino, più brillante di come appare Venere nel nostro cielo. È la Terra: la nostra Terra, che tra poco incroceremo nel volo verso Marte.

La Terra

A mano a mano che avanziamo, allontanandoci da Venere, verso le zone più esterne del sistema solare, la fulgida scintilla diviene sempre più brillante, si trasforma in un dischetto azzurro, s'ingrandisce sempre di più, finché non cominciamo a distinguervi zone rossicce o verdastre, in mezzo a grandi estensioni blu e ampie distese biancastre a fiocchi, a strisce, a vortici, che lentamente si formano, si trasformano, si dissolvono. Sono i continenti, gli oceani, le nubi. Il disco cresce ancora, distinguiamo un numero sempre maggiore di particolari, cerchiamo istintivamente con lo sguardo la nostra patria, la città dov'è la nostra casa. Ma dopo aver già visto luoghi tanto inospitali, dopo aver cominciato a provare la solitudine dell'isolamento nello spazio, come facciamo a non sentire come nostra patria tutto quel globo, che ci offre in qualunque suo punto un'aria respirabile, anche se non sempre salubre, un'acqua necessaria, anche se non tutta direttamente potabile, e la compagnia di milioni di esseri come noi, che forse non ci sono tutti simpatici ma sono pur sempre nostri fratelli? Ne troveremo altri simili in qualche altra parte dello spazio? Ritroveremo un pianeta che somigli al nostro? Chi sa! Per ora vediamo solo che la Terra, da noi raggiunta e superata, torna a diminuire, s'impiccolisce sempre di più, ci sfugge. E mentre pensiamo che ora veramente stiamo iniziando la parte più avventurosa del viaggio e che, da questo momento in poi, ci allontaneremo sempre di più, dapprima verso i confini del sistema

solare, poi verso le stelle, fino ai limiti dell'universo conosciuto, il disco luminoso sul quale per un attimo avevamo creduto di intravedere anche la nostra casa si riduce rapidamente e torna a diventare soltanto una fulgida scintilla celeste.

Marte

Ma un'altra scintilla, questa volta rossa, ci sta venendo incontro. È Marte, il più famoso dei pianeti, sul quale sono state scritte tante pagine di fantascienza e sono stati puntati tanti telescopi. Come si sapeva già da tempo, è un corpo più piccolo della Terra, avendo un diametro di 6787 km e una massa appena 0,11 volte quella terrestre.

È anche meno denso della Terra (3,9 rispetto all'acqua) e si muove intor-

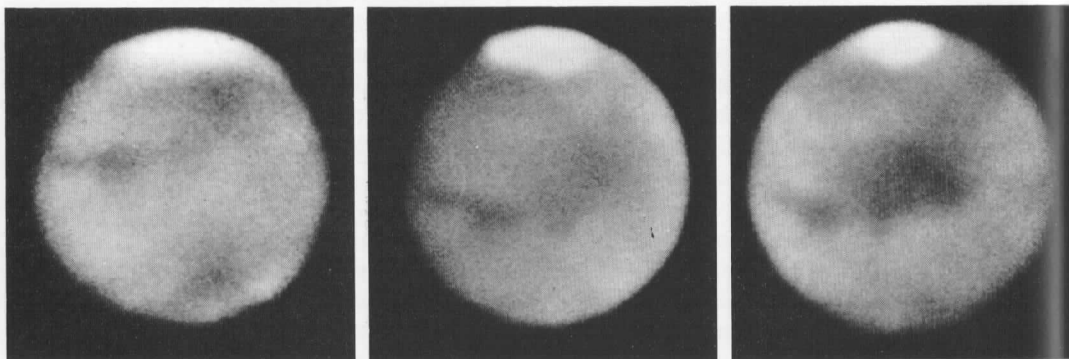


Fig.22 Qui e nella pagina a fronte, in sequenza, progressiva variazione della calotta polare meridionale di Marte e accentuazione delle regioni scure col progredire della stagione.



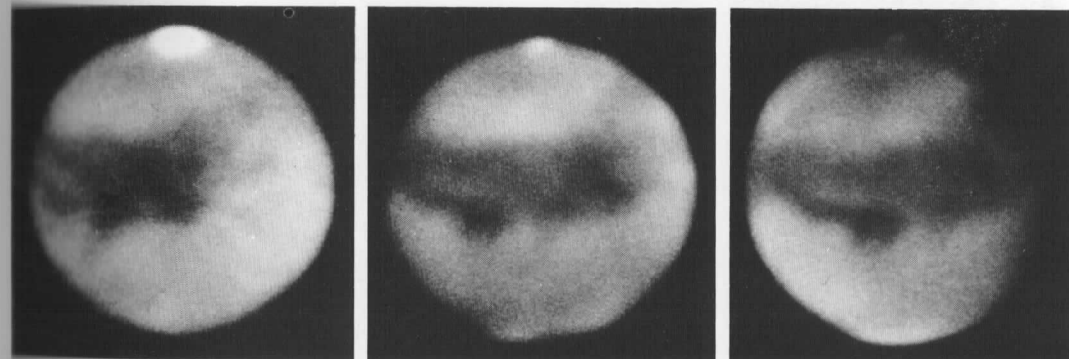
Fig.23 Mappe di Marte eseguite da G. de Mottoni y Palacios in base alle osservazioni fatte nel 1969. Qui sopra mappa secondo le fotografie ottenute al telescopio dalla Terra.

no al Sole a una distanza media di 227 milioni e 900 mila chilometri.

Oggi, dopo che undici sonde spaziali lo hanno fotografato ed esaminato si è scoperto che è ben diverso da come l'avevamo concepito fino a pochi anni or sono, ma è sempre più interessante e ancora tanto ricco di misteri da scoprire.

Man mano che ci avviciniamo il suo splendore aumenta finché, a partire da una certa distanza, cominciamo a notare che il punto luminoso si sta aprendo in un dischetto. Il disco si allarga sempre più e finalmente raggiunge le dimensioni con le quali appariva agli osservatori terrestri del XIX secolo, che lo seguivano con i telescopi. A questo punto siamo in grado di scoprire quanto essi avevano trovato con lunghe, pazienti ricerche.

Noteremo, prima di tutto, che Marte presenta zone chiare e zone scu-



Il fenomeno è descritto come il propagarsi di un'onda oscura dal polo verso l'equatore. Le sei fotografie vanno dal 10 marzo al 22 agosto marziani (*Lowell Observatory*).



Mappa basata sulle fotografie prese dalle sonde Mariner 6 e Mariner 7 mentre erano in fase di avvicinamento al pianeta. Il nord è in basso, come nelle fotografie della Fig. 22.

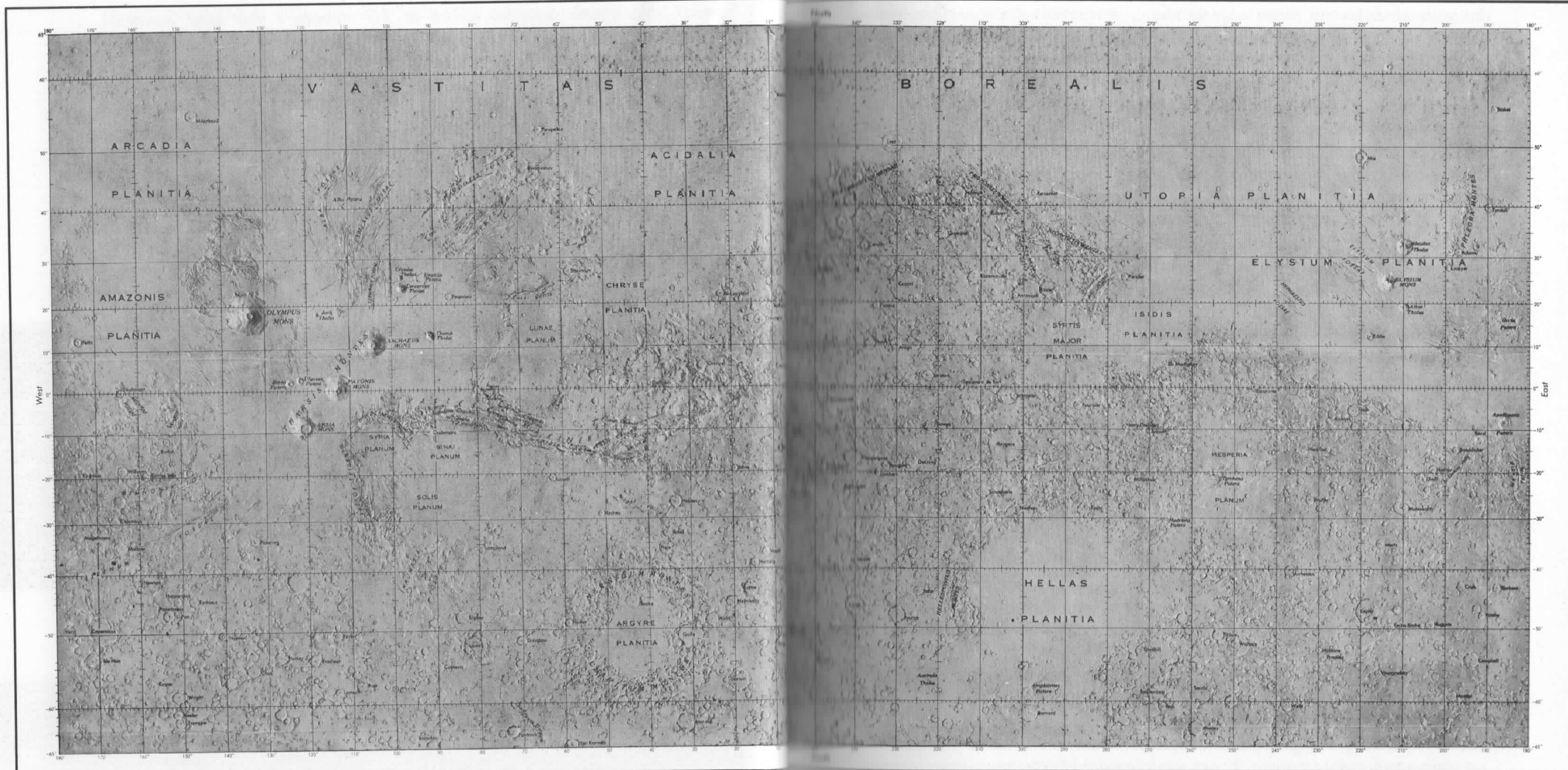


Fig.24 Mappa di Marte ottenuta dalle migliaia di fotografie scattate dalla sonda Mariner 9.

re a contorni ben definiti, le prime rossicce, le altre grigie (FIG. 22). Dal moto di queste macchie, si trova che ruota intorno a un asse inclinato poco più di quello terrestre ($23^{\circ}59'$) con un periodo di 24 h 37 min e 23 s. Lo spettrografo mostra la presenza di un'atmosfera, anche se molto più rarefatta di quella terrestre, e l'occhio nota due calotte bianche nelle zone

Si noti l'aspetto generale, diverso da quanto fu visto al telescopio (*U. S. Geological Survey*).

polarì, in apparenza del tutto simili a quelle che ricoprono i poli terrestri.

L'inclinazione dell'asse provoca stagioni simili alle nostre ma un po' più lunghe perché, essendo Marte più lontano dal Sole, il suo anno dura 687 giorni, cioè quasi il doppio di quello terrestre. Se dal nostro osservatorio spaziale ci fermassimo a osservare Marte per un paio di anni, ve-

dremmo cambiamenti simili a quelli che ci mostrerebbe la superficie terrestre seguendola nel corso di un anno, per esempio dalla Luna. Osservando un emisfero marziano durante il suo inverno, le zone scure appaiono grigie e quelle chiare pressoché incolori, mentre la bianca calotta polare è alla sua massima estensione. Col sopraggiungere della primavera, la calotta polare si stringe sempre più, le zone scure si accentuano e assumono un colore verdastro, dapprima in vicinanza della calotta polare, poi a distanze sempre maggiori, finché l'ondata verde non raggiunge le zone equatoriali. Siamo giunti all'inizio dell'estate; la calotta polare è quasi scomparsa; il contrasto tra zone chiare e scure ha raggiunto un massimo; poi torna a diminuire, finché il ciclo si chiude e tutto ricomincia con la nuova stagione. Questo ciclo può far pensare a qualcosa che si trasmette dal polo e modifica soprattutto le zone scure: per esempio ad acqua proveniente dallo scioglimento delle nevi polari, che ravviva una qualche vegetazione.

È questo il quadro che ci si era fatto in base alle osservazioni al telescopio e che sembrava semplice e ormai definitivo: un pianeta simile alla Terra, più piccolo, meno caldo, con atmosfera più rarefatta, ma vivo, cioè sede di una vita, almeno sul tipo di quella vegetale.

Un tale quadro sembra rimanere anche quando ci avviciniamo ulteriormente al pianeta, almeno fino alla distanza di circa un milione di chilometri dalla quale le sonde Mariner 6 e 7 scattarono le prime fotografie. L'aspetto è simile a quello osservato dalla Terra al telescopio (FIG. 23) anche se le macchie sono meglio visibili, più nitide, più ricche di particolari. A questo punto del nostro viaggio di avvicinamento, distogliamo lo sguardo dal pianeta per qualche ora, rivolgendolo nella direzione opposta, verso il Sole e la Terra, l'astro brillantissimo che gli splende a fianco. Tornando a guardare Marte quando ci saremo immessi in orbita intorno ad esso e vedendolo finalmente da vicino, non crederemo ai nostri occhi. Le macchie chiare e scure sono quasi svanite e al loro posto non sono comparse configurazioni che delineano le stesse zone ma tutta una nuova orografia che non ha niente a che fare con le macchie che avevamo osservato fino a poco prima. Si direbbe un altro pianeta se non sapessimo che non è facile far sparire un corpo celeste di quelle dimensioni e farne saltare fuori un altro simile, al suo posto. E poi qualcosa del Marte che avevamo osservato c'è ancora: le calotte polari, per esempio e, osservando bene, riconosceremo anche qualche altra regione. Ma, continuando a girare intorno al pianeta e osservando sempre nuove regioni, dimentichiamo questo problema, colpiti come siamo da un mondo completamente nuovo che ci si viene svelando, diverso non solo dalla Terra, ma anche dalla Luna, da Mercurio e da Venere (FIG. 24).

In un primo momento siamo colpiti dalle zone ricche di crateri che si estendono soprattutto nell'emisfero australe. Sono crateri con diametri

compresi tra pochi chilometri e qualche centinaio, alcuni a fondo piatto, altri piccoli e incavati come scodelle; sono simili a quelli della Luna o di Mercurio ma più piatti, più consumati.

Stiamo cominciando a sentirci delusi pensando che fuori della Terra tutti i corpi celesti siano uguali, pieni di buchi, quando cominciamo a osservare un'enorme zona pianeggiante che si stende su gran parte dell'emisfero settentrionale. È la zona chiamata Tharsis, una specie di immenso altopiano del diametro di oltre 5000 km, che nelle zone più elevate si innalza fino a 7000 metri al disopra dei terreni craterizzati adiacenti che avevamo visto precedentemente. Qui le configurazioni da impatto sono pochissime e di piccole dimensioni. Si ritiene che i crateri dell'emisfero australe ebbero origine in epoca remotissima, oltre quattro miliardi di anni fa, quando caddero sul pianeta i pezzi del materiale residuo da cui il pianeta stesso si era appena formato.

Stando così le cose, gli altopiani settentrionali si dovettero formare dopo, con la fuoriuscita di magma che cancellò i crateri che, in origine, si erano formati anche nell'emisfero boreale.

Su questa immensa estensione si innalzano quattro giganteschi vulcani, il più grande dei quali era stato intravisto al telescopio da G. Schiaparelli. Il celebre astronomo aveva scoperto, in realtà, una macchiolina bianca circolare e brillante, che aveva attribuito a neve su un'alta montagna e aveva chiamato Nix Olympica. Fotografata da vicino, questa cima nevosa e talvolta nuvolosa si è rivelata come la sommità di un vulcano enorme, alto 26 000 metri, largo da 500 a 600 chilometri che, in prossimità della base, s'innalza sulla pianura sottostante con una scarpata quasi verticale di circa 4000 metri di altezza (FIG. 25). La vetta, larga circa 70 chilometri, ospita un complesso sistema di caldere che un tempo erano state certamente le uscite dei canali di emissione della lava. Questo vulcano dall'aspetto del profilo, molto schiacciato, appartiene al tipo detto a scudo, che si forma attraverso eruzioni successive di lava a bassa viscosità, capace di scorrere fino a grandi distanze dalla bocca di emissione, formando pareti pochissimo inclinate. I vulcani delle Hawaii sono di questo tipo ma il più grande di essi, il Mauna Loa, è tre volte più piccolo di questo gigante che, seguendo Schiaparelli, è stato chiamato Monte Olympus.

Nella stessa regione di Tharsis vi sono altri tre vulcani, del diametro di circa 400 chilometri, alti intorno a 20 000 metri. Si vedono, inoltre, diverse strutture vulcaniche di minor diametro, intorno a 100 km, con versanti molto più inclinati, essendosi formati, forse, da lave più viscosi. La zona è ricca anche di altri edifici vulcanici, dalla forma di piattini rovesciati, con una caldera centrale di diametro uguale a circa la metà dell'intera struttura. Nella parte più settentrionale di questa regione si trova il più esteso dei vulcani di Marte, Alba Patera, che deve essere anche uno dei

più antichi, essendo quasi distrutto dall'erosione. Anche la regione di Elysium, corrispondente a un rigonfiamento simile a quello di Tharsis ma più piccolo e meno elevato, ospita diversi vulcani. Gli scudi sono simili a quelli di Tharsis ma sono più piccoli e forse più antichi. Il più grande è il Monte Elysium, largo da 200 a 300 km e alto circa 15 000 metri.

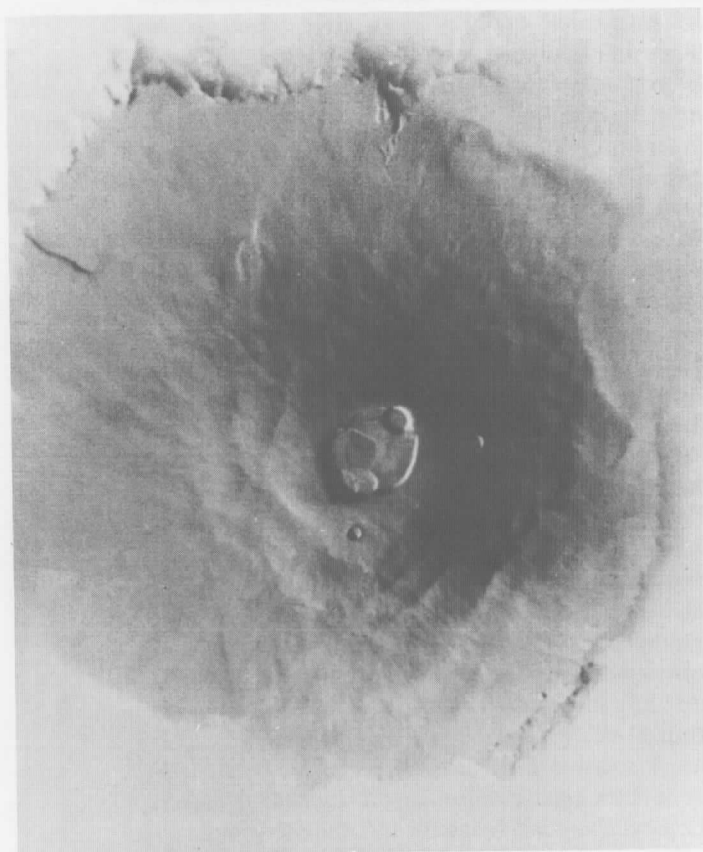


Fig.25 Il vulcano Olympus Mons, il cui cratere terminale ha un diametro di 70 km mentre la base ha un diametro di 600 km e termina con ripide scarpate. L'altezza del vulcano sulle pianure circostanti è di 26 000 metri circa (NASA).

Nell'emisfero australe di Marte sono stati identificati pochi resti di vulcani, molto danneggiati dai crateri d'impatto. L'alto numero dei crateri di questo tipo formatosi sulle loro pendici, mostra che quei vulcani furono attivi verso la fine del periodo in cui il pianeta fu fortemente bombardato dai detriti rimasti dopo la formazione del sistema solare. Ciò si verificò circa tre miliardi di anni fa. Già allora, dunque, si svolgeva su

Marte quell'attività vulcanica che col Monte Olympus, il vulcano più recente che, secondo M. H. Carr, si formò non più di 200 milioni di anni fa, doveva forse giungere fino all'epoca presente.

A est dei tre vulcani di Tharsis vediamo una configurazione impressionante: una specie di solco che sembra intaccare il pianeta. È la co-

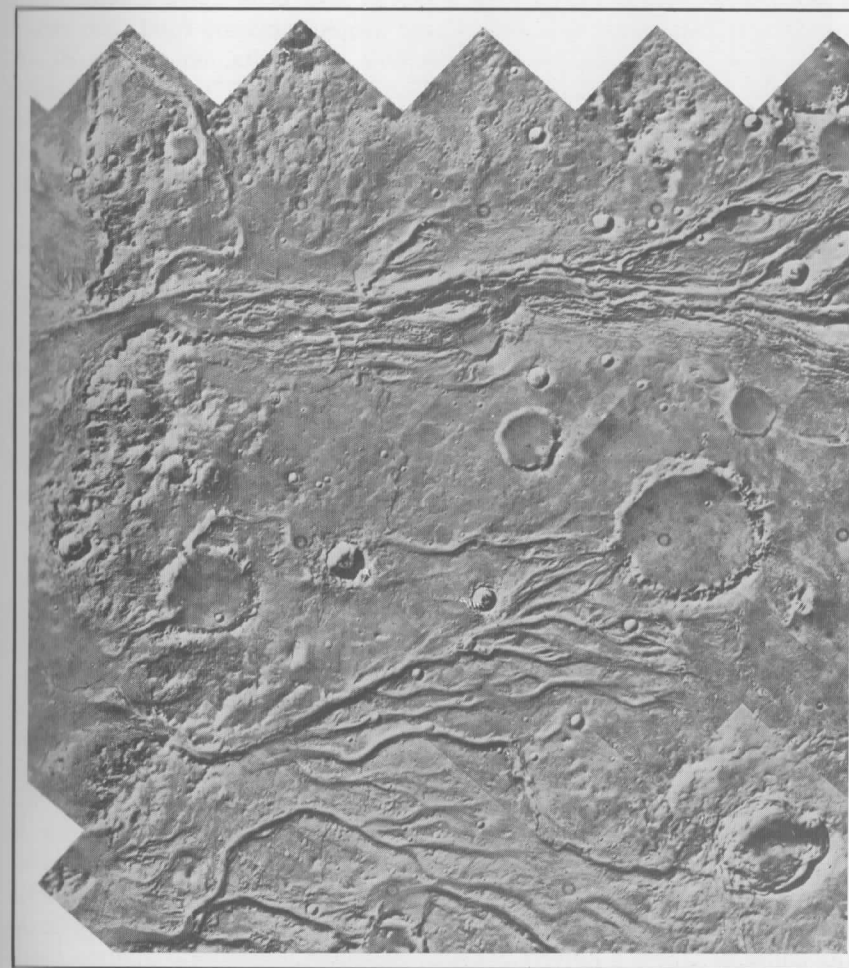


Fig.26 Solchi simili a letti di fiumi fra il Lunae Planum e la Chryse Planitia, su un terreno inclinato da sinistra a destra con un dislivello di circa tre chilometri. Alcuni, come il sistema in alto, hanno cancellato crateri preesistenti; altri sfociano in crateri, come quello al centro a destra. Si ritiene che siano stati formati dall'acqua, ma l'antica sorgente, nella parte meridionale del Lunae Planum, non è ancora stata individuata (NASA).

siddetta Valles Marineris, un gruppo di canyon lungo 4000 km, largo in media 120 e profondo oltre 6000 metri. L'enorme configurazione, che si estende in longitudine quanto tutti gli Stati Uniti, inizia a ovest con un'intricata rete di canyon stretti e profondi e termina a est in solchi sinuosi simili a letti di fiumi. Questi solchi, i più lunghi dei quali si sviluppano per oltre 1500 chilometri, sono presenti anche in diverse altre zone di Marte e sono molto diversi dai canali di lava della Terra e della Luna (FIG. 26). D'altra parte, se li osserviamo meglio, notiamo fondi con struttura a spiga, isole di forma inequivocabile e, talvolta, un sistema di affluenti che li rendono molto simili ai nostri fiumi (FIG. 27). Molti ritengono che siano stati effettivamente formati da acqua, ma in passato, quando il clima di Marte era più caldo e più umido. A parte questi solchi, d'altra parte, la Valles Marineris non sembra essere stata scavata dall'erosione e, secondo la maggior parte degli scienziati, ha un'origine tettonica.

Le stranezze di Marte non sono finite. Nell'emisfero australe, in pieno territorio craterizzato, c'è un'enorme zona circolare del diametro di circa 2000 chilometri, chiamata Hellas, completamente priva di configurazioni: una distesa piatta, liscia, senza il minimo rilievo. Questo grande bacino, profondo circa 4000 metri, dovette formarsi per la caduta di un grande meteorite in epoca molto antica e oggi è forse la più grande riserva di sabbia e polvere dell'intero pianeta. Ci deve essere senz'altro un collegamento tra Hellas e le grandi tempeste di sabbia che si sviluppano talvolta su Marte. Queste tempeste, già osservate al telescopio, si sapeva che erano tanto violente ed estese da avvolgere l'intero pianeta, impedendo l'osservazione del suolo sottostante. Oggi si sa che hanno origine nella regione Noachis¹, immediatamente a Nord-Ovest del bacino di Hellas. Sorgono improvvisamente, ogni anno, all'inizio dell'estate australe (è ovvio che si tratta di 'anno' ed 'estate' marziani). Una delle più grandi, nel 1971, fu seguita a lungo dalla Terra e successivamente, verso la fine, dalla sonda Mariner 9. Il fenomeno si manifesta, sopra a Noachis, come una striscia allungata, bianca e brillante con un fronte di alcune migliaia di chilometri. La zona centrale della nube di polvere si espande in principio molto lentamente poi sempre più rapidamente e, allungandosi soprattutto verso Ovest, nel giro di poche settimane avvolge tutto il pianeta. Mentre si espande si ramifica verso Nord e verso Sud, coprendo così, in poco più di un mese, l'intero emisfero australe. A volte, come avvenne nel 1971, si estende anche all'emisfero settentrionale e tutto il pianeta rimane soffocato sotto una coltre di sabbia e polvere che può persistere fino a tre o quattro mesi. Finalmente tutto si placa, le particelle di polvere ricadono e in qualche mese l'atmosfera torna alla normale trasparenza.

¹ Denominazione di Schiaparelli, non riportata nella mappa della Fig. 24.



Fig.27 Configurazioni simili a letti di fiumi e isole fluviali, fotografati da Viking 1 mentre era in orbita attorno al pianeta (NASA).

Nelle epoche in cui le particelle di polvere vengono sollevate dai deserti e trasportate su tutto il pianeta si devono scatenare forti venti. Si calcola che debbano spirare con velocità di almeno 150 km/ora. Anche la loro presenza era già nota dalle osservazioni al telescopio. A volte, infatti, erano state osservate nubi e le velocità dei venti erano state ricavate dal loro moto di spostamento. I venti ci fanno tornare all'osservazione dell'atmosfera, importantissima per vedere Marte anche dal punto di vista più interessante, quello dell'abitabilità. Purtroppo le informazioni in questo senso non sono incoraggianti. L'atmosfera di Marte è molto rarefatta, la pressione al livello del suolo è press'a poco quella dell'atmosfera terrestre all'altezza di 35 000 metri. Inoltre, come è stato confermato dalla sonda Viking 1 nel luglio 1976, è composta quasi esclusivamente di CO_2 . L'anidride carbonica rappresenterebbe il 95%, l'azoto il 3% e il restante 2% sarebbe costituito da argo e da tracce di altri gas. Il vapore acqueo è scarsissimo, lo 0,01%, ma ciò non significa che su Marte manchi l'acqua.

Le bianche calotte polari che un tempo si ritenevano composte esclusivamente di ghiaccio d'acqua devono essere composte, invece, anche da ghiaccio secco, cioè ghiaccio di anidride carbonica. Si pensa che da un quarto a un sesto del CO_2 atmosferico si condensi una volta l'anno sul polo dell'emisfero invernale, per evaporare in primavera e congelarsi poi nuovamente nell'emisfero opposto. Si formano così le calotte polari ghiacciate che scendono fino a circa 60° di latitudine. Il terreno delle regioni polari è formato da depositi sedimentari di due tipi. Uno più antico, non stratificato, che copre una pianura sfiorata da crateri e giunge a latitudini più basse. Un altro, più vicino al polo, formato da serie di lamine dello spessore di circa 30 metri ciascuna, sempre più piccole dal basso verso l'alto (FIG. 28). Entrambi questi depositi vengono erosi dai ghiacci. Il materiale asportato si rideposita nelle regioni a media latitudine, dove forma un sottile strato superficiale e riempie parzialmente antichi crateri.

Quando, in estate, una calotta fonde, non sparisce completamente e al suo posto ne rimane una minore che non si scioglie mai. Questa calotta deve essere composta esclusivamente da ghiaccio d'acqua che si dissolve a una temperatura più alta di quella di fusione del ghiaccio secco. Una certa quantità di acque è certamente presente sulle vette delle più alte montagne e, forse, è imprigionata a tutte le latitudini nella sabbia sparsa al di sopra delle rocce vere e proprie. Inoltre alle latitudini superiori ai 45° il terreno al disotto della superficie deve essere abbastanza freddo durante tutto l'anno da aver fatto condensare gran parte del vapore acqueo che era presente nell'atmosfera in strati di ghiaccio sotterranei analoghi al permafrost presente sul nostro pianeta nelle terre prossime ai poli.

Sembra quindi sicuro, ormai, che l'atmosfera di Marte sia povera di vapore acqueo perché tutta l'acqua del pianeta è concentrata nelle calotte

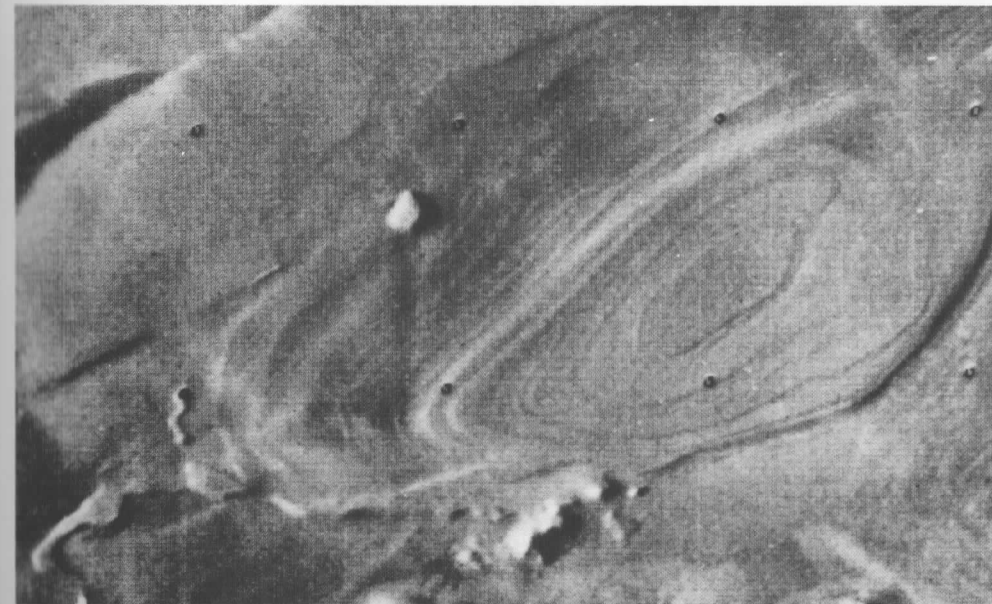


Fig.28 Particolare di Marte, vicino al polo sud, ripreso da Mariner 9. I contorni di forma ovale sono forse quelli di strati sovrapposti di polvere, ceneri vulcaniche e ghiaccio (NASA).

polari, nel permafrost e nella sabbia. È stato calcolato che se tutto il vapore presente nell'atmosfera si condensasse, coprirebbe la superficie del pianeta con una pellicola di pochi centesimi di millimetro. Ma se invece si distribuisse su tutto il pianeta l'acqua delle calotte polari, si formerebbe uno strato della profondità di 10 metri. Un ugual volume, se le idee correnti sono giuste, si otterrebbe fondendo l'acqua presente nel permafrost e nella sabbia. Questo fatto è da imputarsi alle basse temperature che regnano su Marte anche nelle zone equatoriali, più calde. Sembra che anche nelle zone più miti si vada da $+15^\circ\text{C}$ d'estate, intorno a mezzogiorno, a -100°C d'inverno, durante la notte. Informazioni precise, anche se limitate a due sole località, sono state fornite dalle due sonde Viking, atterrate sul pianeta il 20 luglio e il 3 settembre 1976 (FIGG. 29, 30).

A questo punto ci porremo anche noi su quel suolo per toccarlo, per guardarci intorno, per alzare gli occhi verso un altro cielo. Scenderemo su un luogo a latitudine intermedia, nell'emisfero boreale, come quello su cui si posò il Viking 1, verso la fine della primavera marziana. L'atmosfera, tenuissima e diversa dalla nostra, non è respirabile ma, a parte questo, l'ambiente non è molto diverso da certi ambienti terrestri. Freddo ma secco, con una temperatura che scende a -40°C e che anche di giorno.

col Sole, non supera i -5°C ; vento quasi assente, al massimo non superiore ai 18 km/ora; cielo sereno. In queste condizioni, con un respiratore e un equipaggiamento di tipo invernale, potremmo vivere e questo è già molto ricordando i pianeti infernali Mercurio e Venere. Ciò nonostante, neppure qui ritroviamo il familiare ambiente terrestre. Il paesaggio è quello di un deserto, piuttosto strano, che alterna dune di sabbia a rocce sparse, ma è un deserto rosso, come non se ne trovano sul nostro pianeta. È rosso ruggine e infatti gran parte del materiale superficiale deve essere proprio ossido di ferro, ed è rosso, o almeno rosa, anche il cielo, forse per la presenza di finissime particelle di polvere sollevate dal vento.

Molto più simile a quello terrestre diventa invece il paesaggio notturno. Quando, dopo il tramonto del Sole, i colori scompaiono e le cose assumono lo stesso grigiore di quelle terrestri viste alla luce delle stelle, il deserto rosso si placa e nel cielo notturno si accendono, a poco a poco, le stelle che brillavano nel nostro cielo. Ritroviamo le stesse costellazioni perché, andando dalla Terra a Marte, abbiamo fatto un passo piccolissimo

Pur tuttavia qualcosa di diverso, in questo cielo, c'è. Innanzi tutto due satelliti, due lune invece di una, come da noi. Circolano abbastanza vicine al pianeta, una a 9300 e l'altra a 23 300 km di distanza, ma sono talmente piccole che anche così vicine non riescono ad apparire più grandi rispettivamente di un terzo della Luna vista dalla Terra e di un grosso punto luminoso del quale si comincia appena ad apprezzare il diametro. Inoltre appaiono muoversi nel cielo in modo strano. Il satellite più lontano, che compie una rivoluzione completa intorno a Marte in 30 ore e 18 minuti, sorge a est e tramonta a ovest come gli altri corpi celesti, ma si sposta nel cielo con estrema lentezza, restando per ben 64 ore consecutive al disopra dell'orizzonte di un determinato luogo. Il più vicino, invece, compie una rivoluzione completa intorno a Marte in 7 ore e 39 minuti, cioè molto più rapidamente di quanto impiega Marte a ruotare su se stesso. Si vedrà quindi sorgere a ponente e tramontare a levante, dopo aver percorso il cielo in circa cinque ore e mezza.

Col trascorrere della notte ci accorgeremo che le costellazioni non si

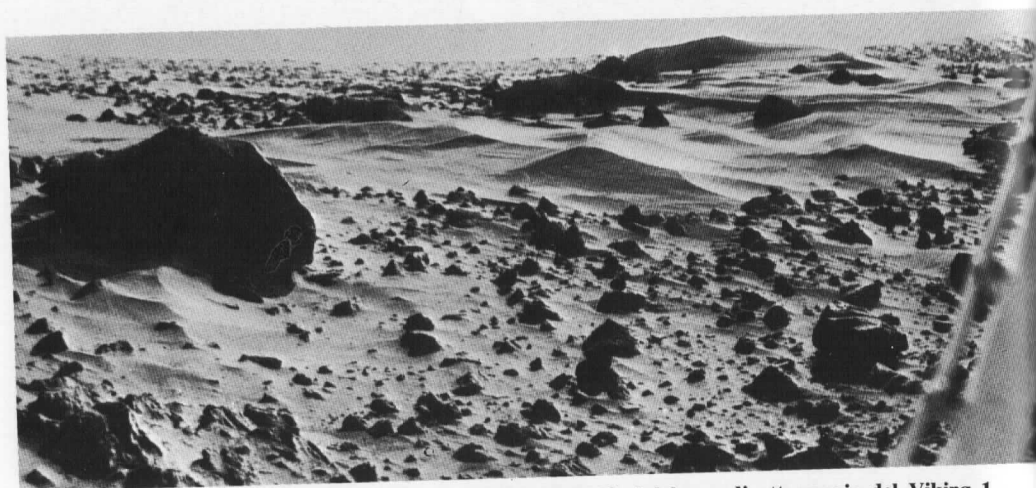


Fig.29 Paesaggio marziano, su un arco di 100° , dal luogo di atterraggio del Viking 1. Esso è desertico, con rocce scabre e dune sabbiose prodotte da un vento da sinistra a destra.

nel nostro sistema solare e addirittura impercettibile rispetto alle stelle che sono enormemente più lontane.

In queste condizioni ci potremmo sentire addirittura come sulla Terra, a casa nostra, più ancora a nostro agio di quando, pur restando sul nostro pianeta, passiamo dall'emisfero boreale a quello australe o viceversa.



Il masso a sinistra, delle dimensioni di un metro per tre, è a circa otto metri di distanza. Il Sole, sorto da un paio d'ore, illumina da un cielo senza nubi il suolo senza vita (NASA).

muovono intorno alla stella polare, come da noi. L'asse di rotazione di Marte, infatti, è rivolto verso una zona, tra la costellazione di Cefeo e quella del Cigno, priva di stelle brillanti. Una cosa analoga a quella che succede anche da noi nell'emisfero australe. Col trascorrere della notte vedremo anche qualche pianeta. Giove, Saturno e i pianeti più lontani ci

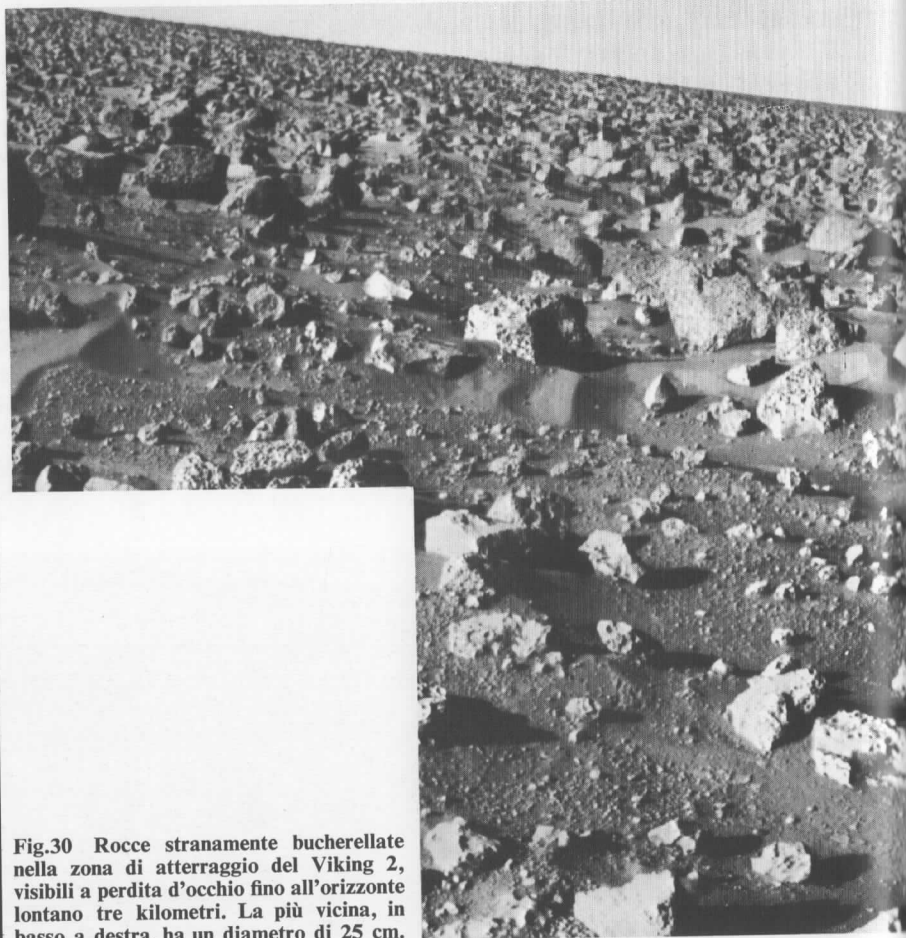


Fig.30 Rocce stranamente bucherellate nella zona di atterraggio del Viking 2, visibili a perdita d'occhio fino all'orizzonte lontano tre chilometri. La più vicina, in basso a destra, ha un diametro di 25 cm.



In primo piano, da sinistra a destra, vediamo snodarsi una specie di rigagnolo asciutto. La linea dell'orizzonte sembra inclinata perché, nell'atterraggio, un piede della sonda si è posato su una roccia (NASA).

appariranno come li vedevamo dalla Terra. Mercurio si riuscirà difficilmente a rintracciare, mentre Venere si vedrà bene nel cielo del mattino o della sera. E finalmente, con l'apparire delle prime luci dell'alba, se non era presente nel cielo del tramonto, un altro astro, poco meno brillante di Venere nel nostro cielo, sorgerà sul deserto marziano che torna a emergere dal buio della notte e a riacquistare il suo fosco colore. Questo nuovo astro, che non appare nel nostro cielo, è la Terra che, alzandosi sull'orizzonte, ci dice che un nuovo giorno sta per cominciare.

Con questa visione ci stacciamo da Marte, un pianeta tanto diverso dal

nostro ma ancora abbastanza simile da poterci sopravvivere e perfino, forse, sentire a proprio agio. Lo lasciamo dirigendoci verso le zone più esterne del sistema solare, dove incontreremo i pianeti giganti, che solo da poco hanno cominciato a svelarci i loro misteri.

I PIANETINI

Una delle più interessanti scoperte compiute dal Mariner 4, la sonda lanciata nel 1965 verso Marte, fu quella che il numero dei micrometeoriti

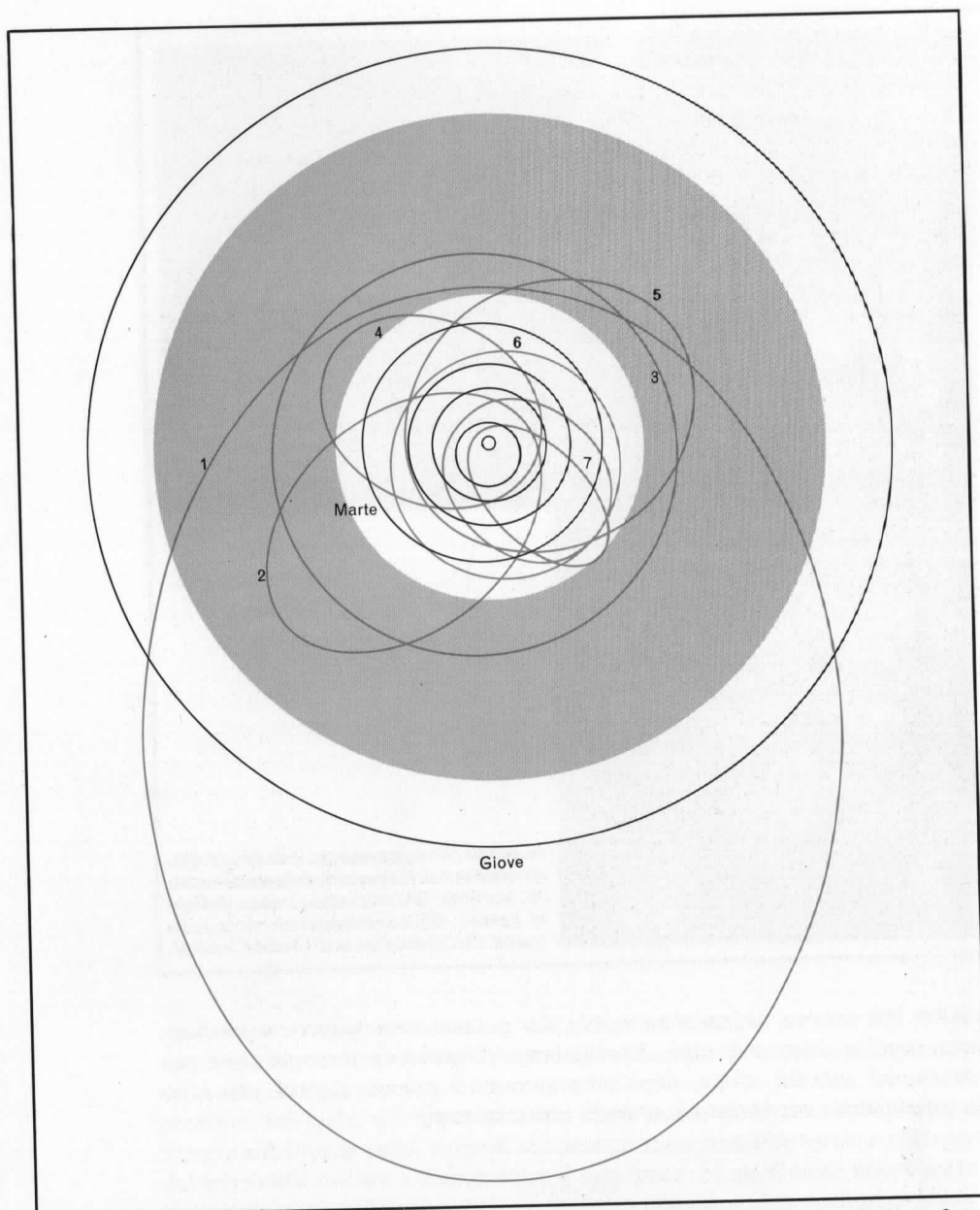


Fig.31 La fascia degli asteroidi, indicata in colore, che si trova tra le orbite di Marte e di Giove. I numeri indicano quei pianetini che percorrono orbite eccentriche: 1, Hidalgo; 2, Adonis; 3, Cerere; 4, Apollo; 5, Amor; 6, Eros; 7, Icarus. In nero sono indicate le orbite, praticamente circolari, dei pianeti.

aumenta notevolmente allontanandosi dalla Terra in direzione di Marte. Infatti, mentre il Mariner 2, lanciato verso Venere, cioè nella direzione opposta, aveva registrato l'urto di due sole meteore, Mariner 4, nelle prime 3100 ore di viaggio, registrò 77 urti e successivamente il numero delle particelle che urtavano la sonda crebbe al punto tale che i tecnici della NASA cominciarono a temere l'incontro con un corpo tanto grande da distruggere totalmente il veicolo e compromettere il buon risultato dell'impresa.

Questo fatto non meravigliò troppo poiché, avvicinandosi a Marte, Mariner 4 si avvicinava anche al cosiddetto anello degli asteroidi, una vasta zona compresa tra l'orbita di Marte e quella di Giove, entro la quale, su orbite più o meno ellittiche, circola intorno al Sole un numero imprecisato di pianeti di piccolissime dimensioni (FIG. 31).

Il primo di questi pianeti fu scoperto casualmente la notte del 1° gennaio 1801, da G. Piazzi, direttore dell'Osservatorio di Palermo. La scoperta provocò tra gli astronomi del tempo entusiasmo e sollievo. Il nuovo pianeta (al quale lo scopritore diede il nome di Cerere) era atteso. Infatti, per una certa legge empirica, detta di Bode, a una distanza dal Sole di 418 milioni di chilometri avrebbe dovuto esistere un pianeta. Nessuno di quelli noti fin dall'antichità soddisfaceva quella condizione e anzi, applicando la legge di Bode, Marte occupava il quarto posto. Giove il sesto e il quinto rimaneva scoperto. Questo quinto posto in ordine di distanza dal Sole veniva dunque occupato, molto opportunamente, da Cerere.

La gioia degli astronomi venne, però, un po' turbata quando, il 28 marzo 1802, W. Olbers scoprì un altro pianeta con orbita simile a quella di Cerere, al quale fu dato il nome di Pallade. Il 1° settembre 1804 un terzo pianeta (Giunone) si unì ai primi due e il 29 marzo 1807 venne scoperto il più brillante del gruppo: Vesta. Da allora il numero dei corpi di questo tipo a noi noti è andato continuamente aumentando. Nel 1868 erano un centinaio, nel 1879 duecento, nel 1890 trecento. Alla fine del 1891 l'astronomo M. Wolf, di Heidelberg, applicò alla ricerca il metodo fotografico e le scoperte si moltiplicarono, cosicché alla fine del 1974 ben 1914 erano quelli che rientravano nella numerazione definitiva. Ma forse la maggior parte di questi corpi è ancora da scoprire. Secondo una recente statistica, basata sull'incremento del loro numero a misura che si considerano corpi sempre più deboli, dovrebbero essere quasi 22 milioni e addirittura miliardi se si considerano i frammenti più piccoli. Indipendentemente da questo totale, difficile da controllare per ovvie ragioni pratiche, una ricerca di quelli più deboli, in corso ora agli osservatori di Leyden e Mount Palomar, ha già permesso di scoprirne diverse migliaia, per molti dei quali si sta procedendo allo studio dell'orbita e alla numerazione definitiva.

Questi corpi celesti si chiamano pianetini (o asteroidi) perché girano intorno al Sole come i pianeti più grandi ma sono di dimensioni ridottis-

sime (FIG. 32). Essi, inoltre, non somigliano affatto ai loro fratelli maggiori. Il più grande di essi, Cerere, ha un diametro di appena 955 km, Pallade, Vesta e Giunone sono ancora più piccoli; solo una trentina hanno un diametro superiore ai 100 km, tutti gli altri sono per la maggior parte inferiori ai 50 km e quelli che vengono scoperti da qualche tempo a questa parte, inferiori addirittura ai 20 km.

Sembra che solo Cerere, Pallade e Vesta siano perfettamente rotondi. Gli altri mostrano, per la maggior parte, variazioni di luce periodiche, dalle quali è facile dedurre l'esistenza di una rotazione assiale e l'irregolarità della loro forma; questo effetto può essere dovuto anche, almeno in parte, all'alternarsi di zone chiare e scure che riflettono più o meno la luce solare.

L'aspetto e le dimensioni di Eros, uno dei più osservati, hanno potuto essere determinate più precisamente quando, il 23 gennaio 1975, passò avanti a una stella. È risultato che si tratta di una vera e propria lastra spessa circa 7 km ed estesa 19 km per 30 km. Su questa specie di zattera celeste non solo non c'è più l'orizzonte ma ci sono addirittura due bordi, ciascuno lungo un centinaio di chilometri, nei quali ci si può affacciare come dal cornicione di un edificio e vedere il cielo che sta al di sotto.

Data la piccolezza, e quindi la bassa gravità, nessun asteroide può essere riuscito a trattenere un'atmosfera la cui assenza è stata confermata,

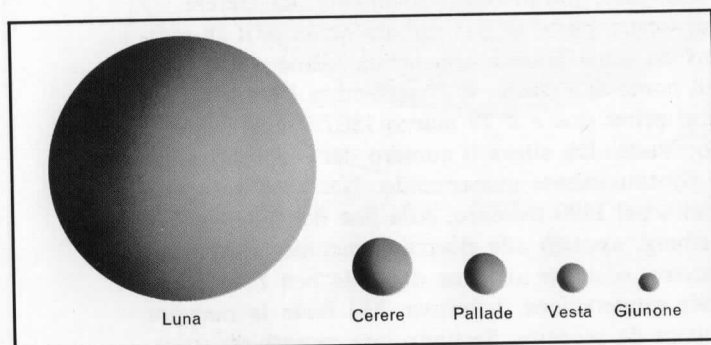


Fig.32 Dimensioni degli asteroidi Cerere, Pallade, Vesta e Giunone confrontate con la Luna.

d'altronde, dalle osservazioni spettroscopiche. Insomma, per la maggior parte dei casi, si può affermare che si tratta solo di grosse rocce, vaganti nello spazio.

Abbiamo detto che i pianetini circolano intorno al Sole su orbite comprese tra quella di Marte e quella di Giove. Ciò è vero soltanto per la maggior parte di essi e in prima approssimazione. In realtà, le orbite dei

pianeti sono sempre ellissi aventi piccole eccentricità, e questo vale anche per molti pianetini. Tuttavia, alcuni di essi percorrono orbite fortemente eccentriche, cioè molto schiacciate, che, almeno per una parte della loro rivoluzione, li portano ad avvicinarsi al Sole molto più di Marte e anche della Terra. Uno di questi pianetini giunge a una distanza dal Sole di appena 28 milioni di chilometri, inferiore a quella dello stesso Mercurio, e deve essere considerato, quindi, il pianeta che più si avvicina al Sole. Questo temerario, scoperto nel 1949 da W. Baade, ha ricevuto il nome di Icaro, dal leggendario figlio di Dedalo che, per aver osato avvicinarsi troppo al Sole, perdette la vita.

Lo stesso Baade, nel 1920, aveva scoperto anche il pianetino che si allontana dal Sole più di tutti. Si tratta di Hidalgo, la cui orbita si spinge fin quasi a raggiungere quella di Saturno. Icaro può avvicinarsi molto anche alla Terra: il 15 giugno 1968 i due corpi si trovarono soltanto a 6,7 milioni di chilometri.

D'altra parte, Icaro non è l'asteroide che più si avvicina alla Terra. Tra quelli che ci fanno questo onore ricordiamo: Apollo, che nel 1932 giunse a 3,2 milioni di chilometri; Adone, che nel 1936 giunse a poco più di un milione; e infine Hermes, che nel 1937 si avvicinò ad appena 780 000 km, circa il doppio della distanza che ci separa dalla Luna. Gli asteroidi che hanno questa caratteristica noti fino ad ora sono una ventina.

Il fatto che alcuni pianetini si avvicinino sensibilmente alla Terra può far nascere il dubbio che qualcuno, di piccole dimensioni, ancora non scoperto, potrebbe addirittura cozzare contro il nostro pianeta. L'evento, anche se estremamente improbabile, non è impossibile. E questa eventualità può rappresentare un lato pratico dell'importanza dello studio dei pianetini. La tempestiva scoperta di un simile corpo permetterebbe di prevedere il luogo di caduta e forse addirittura di tentarne la distruzione nello spazio con armi atomiche. Tuttavia non c'è da fare troppo affidamento sull'efficacia del sistema di avvistamento. Basti pensare che il 10 agosto 1972 un corpo del diametro di circa 10 metri e del peso di almeno un migliaio di tonnellate penetrò improvvisamente nella nostra atmosfera e ne uscì dopo aver sfiorato la Terra senza cadere. Se la sua orbita fosse passata più vicina al suolo, anche di pochi chilometri, sarebbe certamente caduto nella provincia canadese di Alberta provocando un'enorme esplosione, un ampio cratere e spargendo intorno a sé morte e distruzione.

Qualcuno ha suggerito di utilizzare i pianetini come sonde per esplorare il sistema solare. Sarebbe abbastanza facile, per esempio, approfittare di uno dei periodici avvicinamenti di Icaro per installarvi una stazione automatica che verrebbe poi trasportata da Icaro stesso attraverso il sistema solare, dalla distanza di Marte agli immediati dintorni del Sole, e ci potrebbe trasmettere osservazioni interessantissime sul Sole e sullo spazio

interplanetario alle diverse distanze raggiunte da Icaro nella sua orbita.

Dal punto di vista speculativo il problema più interessante collegato ai pianetini è forse quello della loro stessa esistenza. Non si è ancora capito, infatti, come mai al posto di un solo pianeta maggiore esista questa miriade di corpi insignificanti. Naturalmente, a questo proposito, sono state proposte diverse teorie e quando si giungerà a precisare quella giusta si chiarirà forse anche il mistero dell'origine dell'intero sistema solare.

I PIANETI GIGANTESCHI

Giove

Abbandonando la zona dei pianetini, i lillipuziani del sistema solare, e dirigendoci verso i pianeti più lontani dal Sole, raggiungiamo, per primo, Giove, il più grande pianeta conosciuto (FIG. 33).

Questo circola intorno al Sole a una distanza media di 778 milioni di chilometri, compiendo una rivoluzione completa ogni 11 anni e 317 giorni. Pesante 318 volte la Terra, ha però una densità di appena $1,33 \text{ g/cm}^3$. Ha un diametro equatoriale di 142 800 km ed è talmente schiacciato ai poli che, per accorgersene, basta osservarlo anche con un cannocchiale modesto. Lo stesso cannocchiale ci può mostrare che il suo disco appare solcato da bande chiare e oscure, alternate e parallele all'equatore che sono state chiamate rispettivamente 'zone' e 'fasce'. Un telescopio poco più grande mostrerà alcuni particolari strutturali che possono essere presi come riferimento per ricavare la velocità di rotazione del pianeta intorno all'asse polare. Si è così trovato che compie una rotazione su sé stesso ogni 9 h 50 min 30 s ma con una velocità che non è la stessa a tutte le latitudini. Questo accade perché, come nel caso di Venere, anche qui ciò che osserviamo è solo la parte più alta dell'atmosfera.

Nonostante questo, molte delle configurazioni osservate sembrano avere un carattere permanente. Prendiamone ad esempio una, famosissima: la cosiddetta macchia rossa. Scoperta da G. D. Cassini nell'agosto del 1665 e osservata da lui stesso e da altri per oltre mezzo secolo, all'inizio del XVIII secolo era universalmente nota e considerata, anzi, una caratteristica di quel pianeta talmente tipica da essere dipinta in un quadro del 1711 di Donato Creti, oggi nella Pinacoteca Vaticana. In seguito questa configurazione s'indebolì tanto e per tanto tempo da venire completamente dimenticata e quando, nel luglio del 1878, fu nuovamente osservata dall'astronomo H. S. Pritchett, si ritenne di averla vista per la prima volta. Da allora è stata continuamente seguita e studiata e oggi possiamo tracciarne il seguente quadro, abbastanza completo e molto interessante.

La macchia rossa è una configurazione di aspetto ellittico e colore rosso mattone. La tonalità del colore e l'intensità variano col tempo, al punto

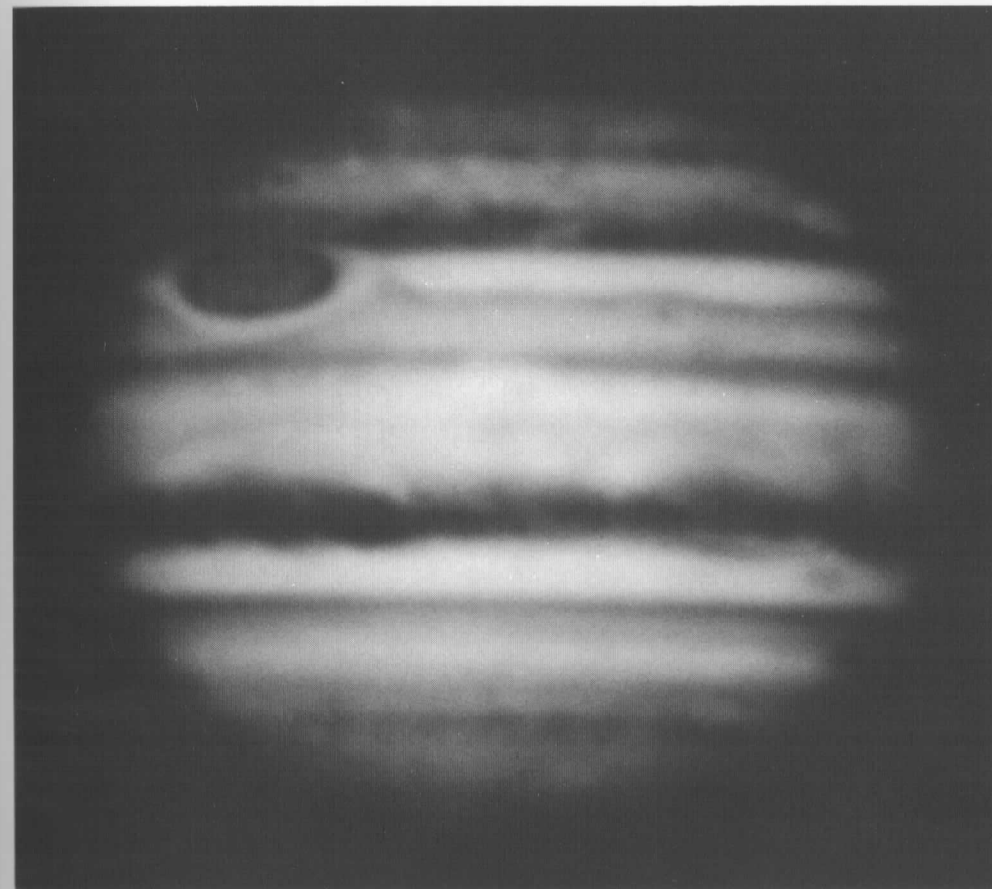


Fig. 33 Il pianeta Giove fotografato in luce blu con il grande telescopio dell'osservatorio di Mount Palomar, il 24 settembre 1952. Si notino lo schiacciamento polare, il bordo sfumato come quello del Sole a causa della spessa atmosfera e le caratteristiche bande scure parallele all'equatore: L'emisfero australe è dominato dalla famosa 'macchia rossa' di forma ovale (Mount Wilson and Palomar Observatories).

tale che la macchia, in certe epoche, giunge fino a scomparire. Le dimensioni sono di 13 000 per 40 000 km; potrebbe dunque contenere abbondantemente tre globi come la Terra. La sua latitudine è pressoché costante ma la longitudine varia. La velocità di rotazione della macchia, cioè, non è la stessa del resto del pianeta. Essa, dunque, pur dovendo essere consistente e permanente (come viene provato dal fatto che esiste almeno da oltre tre secoli) sembra fluttuare sul resto del pianeta.

Come già abbiamo visto, Giove presenta bande chiare e oscure, alter-

nate e parallele all'equatore. La macchia rossa si trova in corrispondenza di una banda chiara, ma quella scura sottostante, nella zona di confine, si presenta incavata, segue cioè il bordo della macchia stessa. Esiste inoltre nell'emisfero australe, a una latitudine poco diversa da quella della macchia, un gruppo di configurazioni noto come Grande Perturbazione Australe. A causa delle diverse velocità di rotazione, la macchia rossa e la perturbazione vengono talvolta a incontrarsi. Ebbene, quando la perturbazione raggiunge la macchia rossa, devia verso il bordo di quest'ultima e la costeggia accelerando, per poi rallentare di nuovo l'andatura a mano a mano che si allontana.

Recentemente si è scoperto che la macchia rossa non è unica nel suo genere. Nel 1972 apparve una piccola macchia nell'emisfero boreale e quando, 18 mesi dopo, la sonda Pioneer 10 la fotografò da vicino, si vide che era simile, per forma e colore, alla grande macchia rossa; solo le dimensioni erano molto più ridotte. Quando, l'anno dopo, il pianeta fu nuovamente fotografato dal Pioneer 11, la piccola macchia rossa era scomparsa. Si ritiene che sia durata circa due anni. L'apparizione di questa seconda macchia potrebbe far sorgere un dubbio: è sicuro che la macchia rossa scoperta da Cassini e quella trovata da Pritchett siano la stessa macchia?

Questi fenomeni sono estremamente strani per chi è abituato a concepire i pianeti come corpi con un suolo solido ben definito, come la nostra Terra o Marte. In realtà Giove deve essere qualcosa di ben diverso. Le configurazioni di Giove appaiono ben delineate e complessivamente stabili e non possono essere attribuite, quindi, a un'atmosfera di tipo terrestre, continuamente variabile. D'altra parte non possono essere attribuite nemmeno al suolo, poiché non ruotano tutte insieme, come un corpo rigido, e variano continuamente in tanti particolari.

Le sonde Pioneer 10 e Pioneer 11, che passarono vicino a Giove ai primi di dicembre del 1973 e del 1974, ricerche di laboratorio e calcoli teorici hanno permesso d'interpretare a fondo la parte visibile di Giove e di avanzare un modello molto plausibile anche per le zone sottostanti. Si è concluso che ciò che vediamo è senz'altro la parte più esterna di un'atmosfera dello spessore di un migliaio di chilometri, composta da idrogeno, elio, ammoniaca, metano e acqua. Le osservazioni infrarosse compiute dalle due sonde hanno contribuito a chiarire che le zone (chiare) sono più fredde e più alte delle fasce (scure) e inoltre che i gas nelle zone salgono mentre nelle fasce scendono. Calandoci sul pianeta dallo spazio esterno, incontreremmo dapprima l'idrogeno gassoso, poi le nubi più alte composte da cristalli di ammoniaca ghiacciata. Successivamente troveremmo uno strato di idrosolfuro di ammonio cristallizzato che dà alle fasce il caratteristico colore, uno strato di cristalli di ghiaccio e infine uno di goccioline d'acqua.

Al disotto di questo dovremmo finalmente incontrare il suolo ma qui ci attenderebbe la più grossa sorpresa perché il suolo non esiste.

J. D. Anderson e W. B. Hubbard, basandosi su considerazioni cosmologiche, sull'analisi gravitazionale compiuta dai due Pioneer, sul campo magnetico e sull'extrapolazione dei dati di laboratorio riguardanti il comportamento dell'idrogeno alle alte temperature e pressioni che devono regnare su Giove, sono giunti a prospettare un modello dell'interno del pianeta molto convincente. Secondo questo, al disotto dell'atmosfera s'incontra una superficie liquida: un unico oceano d'idrogeno molecolare liquido, esteso su tutto il pianeta e profondo circa 24 000 km. In fondo a questo oceano troviamo già una temperatura di 11 000 °C e una pressione di tre milioni di atmosfere. Scendendo ancora, l'idrogeno non può più mantenersi allo stato molecolare e passa allo stato metallico liquido, non osservabile in laboratorio perché può esistere solo a pressioni estremamente alte. In questo stato l'idrogeno si dissocia in atomi formando un fluido che è un ottimo conduttore elettrico. Questo strato, che ha una profondità di 43 000 km, è forse l'origine di un forte e complesso campo magnetico scoperto dalle sonde Pioneer intorno al pianeta. Finalmente, nella zona centrale, s'incontra un nucleo di appena 3000 km di raggio, composto da ferro e silicati (i principali costituenti della Terra) alla temperatura di circa 30 000 °C.

Nel tracciare questo quadro, gli scienziati hanno tenuto conto anche di una scoperta inattesa compiuta dal Pioneer 10: Giove emette circa il doppio del calore che riceve dal Sole. Dunque Giove ha una sorgente interna di calore e, diversamente da tutti i pianeti che avevamo incontrato fino ad ora, che si limitano a riflettere la luce e il calore che ricevono dall'astro centrale, si comporta come un Sole in miniatura, un piccolo sole il cui centro è caldo meno di un millesimo di quello intorno al quale si muove, ma è pur sempre 10 000 volte più infuocato di una nostra fornace.

Questa dunque è forse la struttura di Giove nella sua essenza. E questa, salvo le proporzioni, sembra essere anche quella di Saturno, il pianeta più lontano dal Sole tra quelli visibili a occhio nudo e noti fin dall'antichità.

Saturno

Saturno si muove a una distanza media dal Sole di 1428 milioni di chilometri, su un'orbita che percorre in 29 anni e 167 giorni. Ha una massa pari a 94,15 volte quella della Terra ma una densità di appena 0,69 g/cm³. È meno grande di Giove (il suo diametro equatoriale è di 120 800 km) e, come il suo fratello maggiore, è fortemente schiacciato ai poli. L'osservazione diretta mostra che anche il disco di Saturno è solcato da bande simili a quelle di Giove e lo spettroscopio ha rivelato per l'atmosfera la stessa composizione chimica di base: idrogeno, elio, ammoniaca e metano.

La rotazione assiale di Saturno si svolge in 10 h 15 min ma, anche in questo caso, questo valore si riferisce alla zona equatoriale, poiché alle altre latitudini la velocità è diversa.

Nonostante queste somiglianze con Giove, Saturno, nel corpo planetario, appare diverso non solo da Giove ma da qualsiasi altro pianeta, per una stranissima caratteristica: il celebre, bellissimo anello che lo circonda.

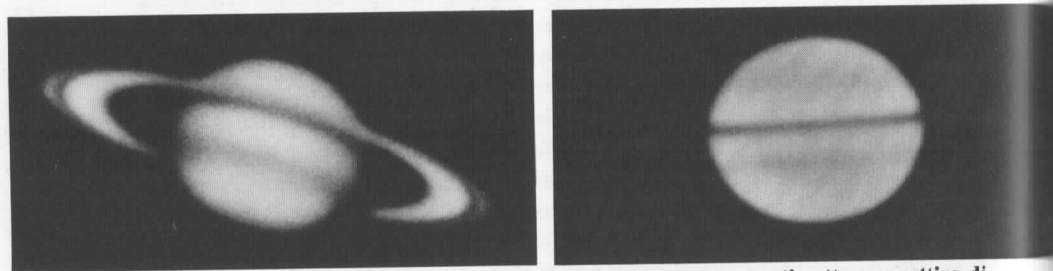


Fig.34 Qui e nella pagina a fronte gli anelli di Saturno osservati sotto prospettive diverse tra il 1934 e il 1940: il fenomeno è dovuto al variare della posizione della Terra.

Le prime osservazioni risalgono al 1610, quando si manifestò a Galileo sotto forma di due stelline ai lati del pianeta. Le stelline scomparvero nel 1612 e riapparvero nel 1616. Galileo rinunciò a seguire un pianeta tanto stravagante ma diversi altri astronomi, usando cannocchiali sempre migliori, continuarono a disegnare queste strane apparenze e persino l'anello, come tale, senza riconoscerlo.

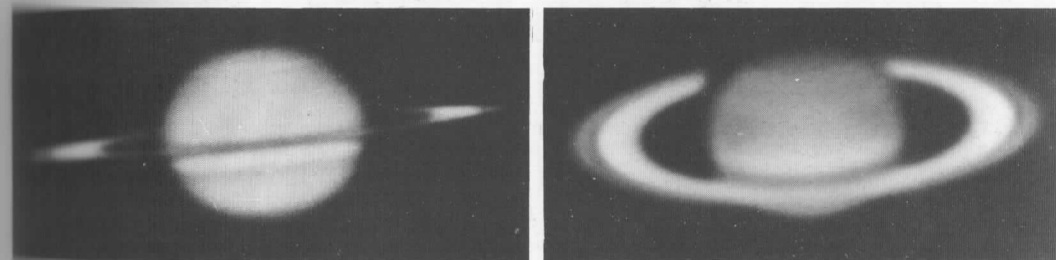
Il mistero fu chiarito da C. Huygens nel 1659. Pochi anni più tardi Cassini scoprì un'interruzione, cioè che gli anelli erano due. Un terzo anello fu scoperto da W. C. Bond nel 1850 e un quarto da P. Guérin nel 1969. Così oggi è più esatto parlare di anelli, al plurale.

Da studi effettuati nel secolo scorso è risultato che gli anelli di Saturno non possono essere corpi rigidi ma sciami di particelle di tipo meteorico, ruotanti intorno al pianeta come altrettanti satelliti. Secondo osservazioni recentissime è emerso che tali particelle sono ricoperte da neve o addirittura frammenti di ghiaccio con diametri compresi tra i 4 e i 30 cm.

La larghezza massima degli anelli è di 276 000 km, mentre dalla parte interna si avvicinano ad appena 11 000 km dalla superficie di Saturno. Lo spessore è piccolissimo e si ritiene che non superi i 20 km. Secondo osservazioni effettuate da A. Dollfus nel 1966, sarebbe appena 2800 m.

Questo spessore, nonostante la sua esiguità, può essere valutato per una particolare circostanza. A causa delle diverse posizioni che può assumere la Terra rispetto al piano in cui giacciono gli anelli, noi vediamo gli anelli

stessi talvolta da una parte, talvolta dall'altra e, in brevi momenti, di profilo (FIG. 34). Per questo Galileo notò nel pianeta Saturno tante stranezze! Quando lo aveva osservato nel 1610 le due anse estreme dell'anello gli apparvero, nel suo piccolo cannocchiale, come due stelline; nel 1612 gli anelli vennero a trovarsi di profilo ed egli non vide più nulla; nel 1616, infine, verificandosi di nuovo le condizioni favorevoli all'osservazione del-



La sparizione degli anelli, che si verifica quando la Terra si trova sul loro stesso piano, ne rivela l'esiguo spessore che non supera probabilmente i 20 km (Lowell Observatory).

l'anello, tornò a notare le due stelline che aveva già visto sei anni prima.

La sparizione degli anelli si verifica a intervalli di 15 anni e 9 mesi, 13 anni e 8 mesi, 15 anni e 9 mesi, e così via. Con i moderni telescopi siamo in grado di seguire gli anelli fino a quando appaiono ridotti a un filo sottilissimo, immediatamente prima o dopo la totale sparizione. Così è stato possibile valutare il loro spessore, che si mantiene lo stesso in tutto il piano, salvo alcuni punti nei quali si notano leggeri ingrossamenti.

L'osservazione degli anelli di Saturno, anche mediante un telescopio modesto, è uno spettacolo indimenticabile. Eppure quella visione è ben poca cosa in confronto allo spettacolo che si dovrebbe ammirare da Saturno. Quegli archi immensi, con varie sfumature di colore, di luminosità, di trasparenza, lanciati nel cielo e interrotti parzialmente dall'ombra del pianeta, devono costituire una visione al tempo stesso impressionante e meravigliosa. Col trascorrere dell'anno di Saturno le condizioni di illuminazione cambiano e gli anelli appaiono diversi, così come si mostrano di diverso aspetto, fino a sparire completamente, a un osservatore che si sposti su Saturno, dalle regioni polari a quelle equatoriali: uno spettacolo stupendo, che forse non è ammirato da alcun essere vivente, né lo sarà mai.

Urano

Se il viaggio che stiamo facendo ora fosse stato intrapreso anche soltanto due secoli fa, arrivati a questo punto ci saremmo fermati, sicuri di

aver raggiunto i limiti del sistema solare. Infatti fino al XVIII secolo i pianeti noti erano: Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno. Da allora, al di là di Saturno, sono stati scoperti altri tre pianeti, Urano, Nettuno e Plutone, che ci accingiamo a esplorare.

Urano fu trovato per caso da W. Herschel, la notte del 13 marzo 1781. Altri astronomi l'avevano già osservato a partire dalla fine del 1600, scambiandolo per una stella. Herschel, invece, usando un telescopio più potente, notò che il nuovo astro mostrava un diametro sensibile, cioè non appariva puntiforme come tutte le stelle. Nelle notti successive ne registrò lo spostamento apparente sulla volta celeste, dal quale altri astronomi ricavarono l'orbita reale nello spazio, concludendo che era un pianeta più distante di Saturno.

Le osservazioni successive hanno mostrato che Urano compie una rivoluzione intorno al Sole ogni 84 anni e 7 giorni, a una distanza media di 2872 milioni di chilometri. Ha un diametro di 51 000 km, una massa 14,5 volte maggiore di quella della Terra e una densità 1,2 volte quella dell'acqua. Per quanto appaia molto debole, Urano è talvolta visibile a occhio nudo e avrebbe potuto essere scoperto anche dagli antichi astronomi sprovvisti di telescopio. È tuttavia così distante che persino i più grandi strumenti riescono a rivelarci ben poco della sua natura fisica. Nelle migliori condizioni di visibilità esso appare come un dischetto blu-verdastro sul quale erano state intraviste deboli bande parallele all'equatore come quelle di Giove e di Saturno; la presenza di queste bande non fu, però, confermata da fotografie eseguite nel 1970 con un telescopio montato a bordo di un pallone stratosferico. Anche Urano è schiacciato ai poli: un po' più di Giove e un po' meno di Saturno. La velocità di rotazione assiale è abbastanza alta: 10 h 49 min; quindi dell'ordine di grandezza di quella di Giove e Saturno. Presenta però una stranezza: l'asse polare intorno al quale si svolge, è quasi adagiato sul piano dell'orbita, in modo che Urano volge alternativamente al Sole, per lunghissimi periodi, l'uno o l'altro polo, mentre, negli stessi intervalli di tempo, quello opposto rimane oscuro e freddo.

Anche Urano ha un'atmosfera, che l'analisi spettroscopica ha rivelato simile a quelle di Giove e Saturno: idrogeno, elio e metano che forse arriva a formare vere e proprie nuvole. Non è certamente un soggiorno ideale per viverci e forse, come nel caso di Giove e Saturno, anche su Urano non troveremmo un suolo sul quale appoggiare i piedi. Ciò non ci impedisce di immaginare una breve sosta per dare un colpo d'occhio allo spazio da quel pianeta, così prossimo ai limiti del sistema solare.

Vediamo prima di tutto il cielo stellato. Ci siamo allontanati dalla Terra per più di 2 miliardi e 700 milioni di chilometri, a una distanza tale che un raggio di luce, alla velocità di 300 000 km/s, coprirebbe solo in due ore e

mezza. Se volessimo inviare un messaggio a una base terrestre con il mezzo più veloce (le onde elettromagnetiche) dovremmo attendere cinque ore prima di avere la risposta. Eppure il nostro spostamento nello spazio è stato ancora talmente impercettibile, rispetto alle distanze delle stelle, che le loro posizioni apparenti sulla volta celeste sono rimaste pressoché inalterate, le costellazioni appaiono esattamente come le vedevamo dalla Terra e il cielo stellato è identico a quello che vediamo dalla finestra.

Ben diversa è invece la visione del sistema solare. Solo tre pianeti sono ancora osservabili a occhio nudo. Mercurio, Venere, la Terra e Marte sono scomparsi nelle immediate vicinanze del Sole, completamente soverchiati dalla sua luce. Giove e Saturno appaiono talvolta come astri del mattino o della sera, allontanandosi dal Sole rispettivamente non più di 16° e non più di 33°. Giove appare al massimo come una stella di magnitudine 5, Saturno come una di 4; entrambi, dunque, molto deboli. Nettuno, il pianeta più esterno che visiteremo tra poco, è visibile, debolissimo, solo nei pochi anni in cui è più vicino a Urano, poi sparisce per circa 150 anni. Plutone è invisibile anche nelle condizioni più favorevoli. Così, dal pianeta Urano, quasi tutto il sistema solare è già scomparso, svanito nella distanza o soffocato dalla luce del Sole. Ma il Sole stesso ci appare ridotto in maniera impressionante. Il suo diametro apparente è di appena 100'' e l'occhio non lo percepisce più come un disco ma come un punto. Un punto luminosissimo, milleduecento volte più brillante della Luna piena vista dalla Terra, trenta milioni di volte più splendente di Sirio, la stella più luminosa. Questa desolazione, questa solitudine, non sono ancora estreme poiché a 4 miliardi e 498 milioni di chilometri di distanza dal Sole si trova un altro pianeta, Nettuno, che compie un giro completo intorno al Sole ogni 164 anni e 280 giorni terrestri.

Nettuno

Nettuno fu scoperto da U. Le Verrier, dallo studio delle perturbazioni di Urano, senza che lo avesse mai visto; si dice anzi che non l'abbia mai visto in tutta la vita. Urano, infatti, non percorreva la sua orbita secondo le previsioni degli astronomi e si comportava come se un corpo invisibile lo attraesse in modo tale da modificare il suo cammino nello spazio. Dall'entità degli scarti tra i dati osservati e quelli calcolati, Le Verrier ricavò il peso del corpo perturbatore, ne calcolò l'orbita e additò il punto esatto del cielo nel quale bisognava guardare per trovarlo. E la sera del 23 settembre 1846, l'astronomo J. G. Galle di Berlino, osservando nella zona indicata da Le Verrier, trovò il nuovo pianeta.

Il diametro di Nettuno è poco inferiore a quello di Urano, essendo di 49 500 km: la massa 17 volte quella terrestre e la densità 1,7 volte quella dell'acqua. L'osservazione al telescopio, ancor più difficile di quella di

Urano, rivela ombre appena percettibili che non sembrano avere l'aspetto delle consuete bande parallele all'equatore, osservate su Giove, Saturno e forse su Urano. La rotazione, ricavata spettroscopicamente, sembra essere di 16 h. L'atmosfera, che sembra estendersi fino ad un'altezza di circa 500 km, è risultata composta essenzialmente di metano, idrogeno ed elio. Ma non sappiamo fino a che punto si possa parlare di atmosfera per un corpo tanto distante dal Sole che la sua temperatura superficiale deve essere inferiore a $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$!

IL PIANETA PIÙ LONTANO

Plutone

Al di là di Nettuno, alla distanza media dal Sole di 5 910 000 000 km, circola ancora un pianeta: Plutone (FIG. 35). Fu scoperto da Clyde Tombaugh il 18 febbraio del 1930, in una posizione assai prossima a quella prevista, col calcolo delle perturbazioni residue di Urano, dall'astronomo Percival Lowell, che era morto quindici anni prima. Le circostanze sembrerebbero analoghe a quelle della scoperta di Nettuno, ma recentemente si è trovato che la scoperta avvenne solo per una fortunata combinazione.

Infatti l'orbita calcolata da Lowell valeva per un pianeta con una massa uguale a 6,7 volte quella della Terra. Il pianeta apparve subito troppo piccolo e troppo debole per questa massa. Infatti misure del diametro, effettuate nel 1950 da G. P. Kuiper e M. Humason con il più grande telescopio del mondo, diedero un valore di 5800 km. Adottando questo valore, anche assumendo una massa pari a quella terrestre, ne risultava una densità 10 volte superiore a quella del nostro pianeta, vale a dire 2,5 volte quella dell'oro! Non essendo ragionevole accettare una densità così diversa da quella di tutta la materia in condizioni normali formante la nostra Terra e gli altri pianeti, si concluse che doveva essere errato il valore attribuito alla massa o quello ricavato per il diametro. Quest'ultimo, però, venne poi confermato da un'osservazione inconsueta. Nella notte dal 28 al 29 aprile 1965, Plutone avrebbe dovuto occultare una stella della costellazione del Leone. Il fenomeno fu seguito in molti osservatori ma l'occultazione non ebbe luogo.

Essendosi trovato che il centro del pianeta era passato $0'',125$ a sud della stella, si dedusse che il diametro del pianeta non può essere superiore a 6400 km, in buon accordo con le misure eseguite da Kuiper e Humason.

A questo punto tre astronomi dell'Osservatorio Navale degli USA ripresero in esame tutte le osservazioni di Nettuno dall'epoca della scoperta, aggiungendovi 158 nuove osservazioni effettuate nel loro istituto dal 1960 al 1968. Dopo aver ridiscusso anche i valori delle masse di Saturno, Urano e Nettuno, giunsero finalmente alla conclusione che Plutone ha una mas-

sa appena 0,11 volte quella terrestre. Assumendo un diametro di 6400 km, si ha una densità uguale a 0,88 volte quella terrestre, ossia 4,86 volte quella dell'acqua, perfettamente ragionevole. In altre parole, come massa, diametro e densità, Plutone appare molto simile a Marte. E se il valore della massa è poco più di un decimo di quello della Terra, l'orbita di Lowell non può ritenersi valida.

Come mai allora C. Tombaugh nel febbraio 1930 lo trovò in una posizione poco distante da quella che doveva occupare in base a quest'orbita? Lo ripetiamo: fu un caso. Un caso fortunato come quello dell'invenzione del cannocchiale o della scoperta della penicillina.

La piccolezza di Plutone, unita alla sua enorme distanza da noi, rende impossibile l'osservazione della sua superficie e di eventuali macchie alle quali ci si possa riferire per ricavare il periodo di rotazione. Tuttavia, negli anni 1954 e 1955, gli astronomi M. Walker e R. H. Hardie notarono piccole fluttuazioni periodiche nello splendore del pianeta. È facile interpretare questo fenomeno come dovuto al fatto che alcune zone della superficie planetaria riflettano di più la luce del Sole e altre meno, e che, ruotando il pianeta intorno al proprio asse, le une e le altre si alternino a vicenda, provocando le fluttuazioni di splendore osservate. Dal periodo della fluttuazione luminosa, sembra che il pianeta ruoti in 6 giorni, 9 ore e 20 minuti.

Nonostante le sue piccole dimensioni, Plutone deve essere riuscito, sen-

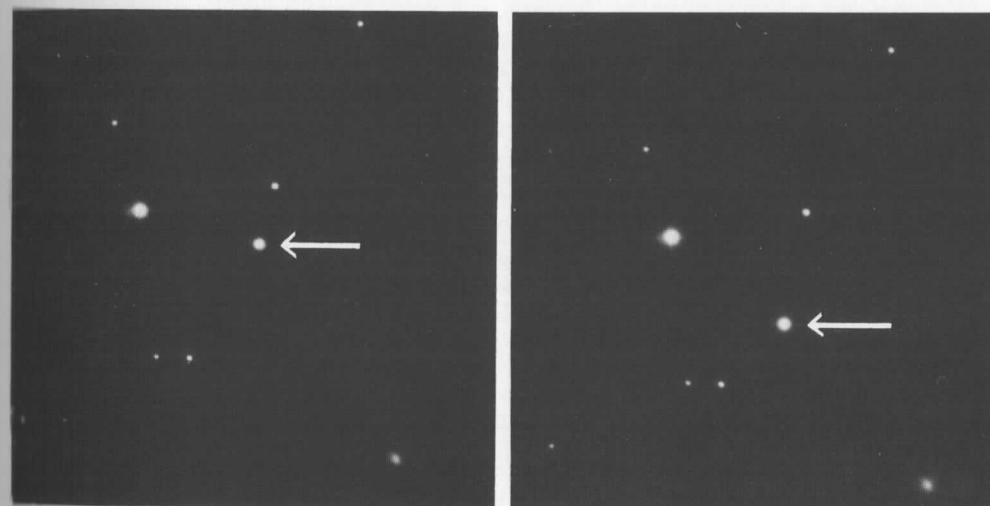


Fig.35 Il pianeta Plutone, un punto luminoso di aspetto stellare, rivelato dal suo spostamento tra le stelle fisse nell'arco di 24 ore (Mount Wilson and Palomar Observatories).

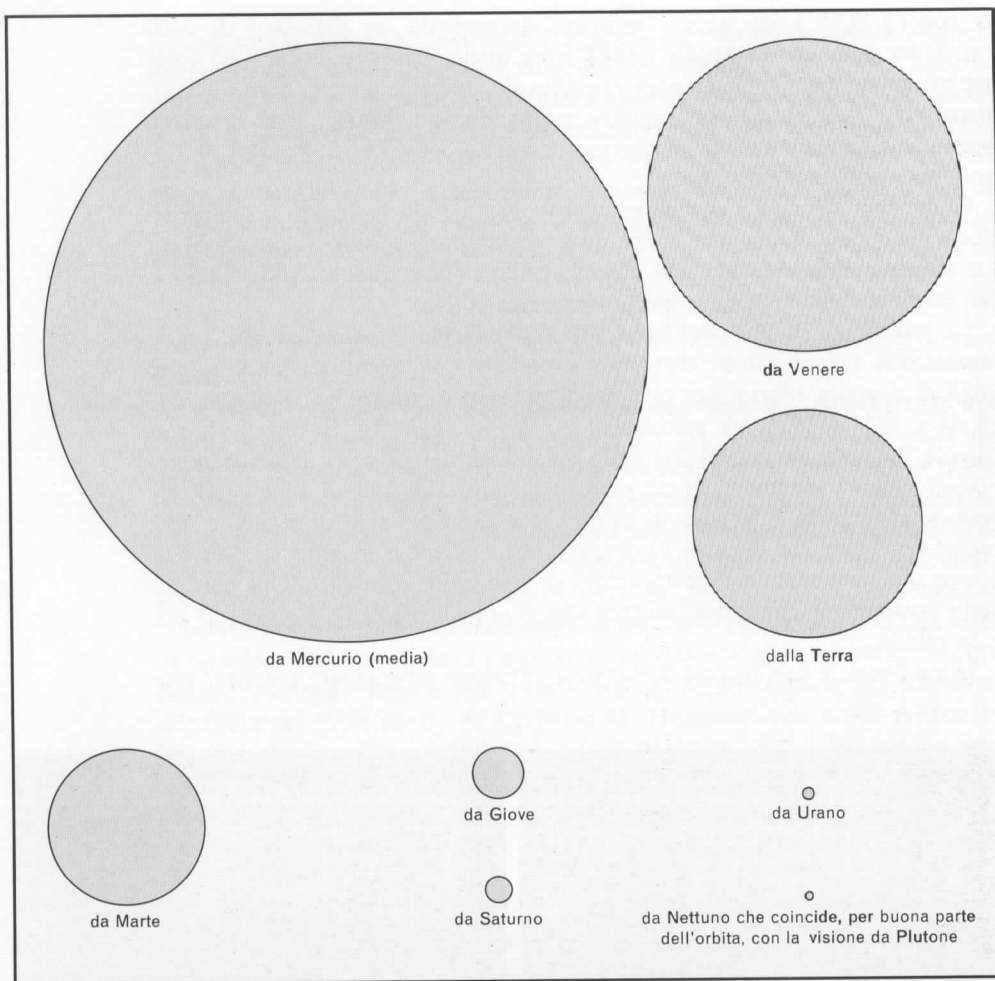


Fig.36 Grandezza apparente del Sole visto dai diversi pianeti del sistema. La vista da Plutone è omessa in quanto coincide, per buona parte dell'orbita, con quella da Nettuno.

za dubbio, a trattenere un certo involucro gassoso. Quasi certamente, però, tutta o la maggior parte della sua atmosfera deve essersi rapidamente congelata, per la bassissima temperatura di circa -230°C , alla quale si trova il pianeta per effetto della lontananza dal Sole. Kuiper, a questo proposito, notò che il suo colore è quasi identico a quello del Sole. In altre parole, la luce che Plutone invia nello spazio è della stessa qualità di quella che riceve dal Sole senza che la sua superficie, nel rifletterla, ne

modifichi il colore. Ciò non avviene, per esempio, per Marte che splende di una luce rossastra, ben diversa da quella che riceve dal Sole, a causa del colore rosso-arancione della sua superficie. Ma dire che il suolo di Plutone riflette la luce solare senza variarne la qualità, equivale ad affermare che è bianco.

È dunque quasi certo che la superficie del pianeta è coperta da immense distese di ghiaccio e neve.

Un soggiorno su quel mondo deve essere desolante. Un nero cielo coperto di lucenti stelle, pressoché prive di scintillazione per l'assenza di atmosfera, sovrasta nella notte sterminate banchise e colossali cumuli di ghiaccio. Poi, a un certo momento, sorge una stella molto più luminosa delle altre e il paesaggio si rischiarizza come quello terrestre sotto la Luna: è sorto il Sole, un Sole che dovrebbe illuminare e scaldare e che invece, rivelandoci con la sua luce spettrale le desolate distese di ghiaccio che ci attorniano, accresce lo squallore che domina su quella lontana terra.

Siamo così giunti ai confini del sistema planetario, tanto lontani dal Sole da vederlo ridotto a un punto (FIG. 36), ma ancora così poco vicini alle stelle da poter affermare che è quasi come se non ci fossimo mossi dalla Terra.

Abbiamo esplorato i pianeti e abbiamo fatto un'importante scoperta. Contrariamente a quanto si era creduto dall'epoca di Galileo fino a pochi anni fa, essi non sono affatto simili alla Terra e neppure tra loro. Certo, la diversità tra i pianeti e la Terra non è più così radicale come ritenevano gli antichi, prima di Copernico e di Galileo: la Terra stessa è un pianeta e certi fenomeni, come la rivoluzione intorno al Sole, la rotazione, la presenza (salvo rare eccezioni) di un'atmosfera, sono caratteristiche comuni a tutti. Ma, esaminandoli da vicino da un punto di vista fisico, abbiamo trovato che tra Mercurio, Venere, la Terra, Marte e Giove non ci sono due pianeti che si assomiglino. Saturno, Urano e Nettuno sembrano piuttosto simili a Giove e tra loro ma attualmente li conosciamo meno bene di come conosceamo i pianeti più vicini al Sole quando li ritenevamo più o meno uguali. La scoperta della grande varietà degli aspetti, avvenuta attraverso le sonde spaziali, deve farci meditare sul fatto che se tanto sono diversi pianeti di dimensioni confrontabili, che circolano intorno allo stesso Sole a distanze non troppo diverse, come Venere, la Terra e Marte, ancor più diversi potrebbero essere i remoti pianeti che forse circolano intorno ad altre stelle, simili ma non uguali al Sole.

Tra poco lasceremo definitivamente il sistema solare e avanzaeremo nello spazio cosmico per esplorare l'universo a distanze sempre maggiori. Ma prima di iniziare questa nuova avventura completeremo la conoscenza del nostro sistema che, come abbiamo detto, non è formato soltanto dal Sole e dai pianeti maggiori, ma anche dai loro satelliti e dalle comete.

I SATELLITI

I pianeti che abbiamo visitato generalmente non sono soli. Molti di essi costituiscono, a loro volta, il centro del moto di altri corpi: i satelliti. Uno dei satelliti, la Luna, è uno dei corpi celesti più noti all'uomo fin dalla preistoria, però il moderno concetto di satellite si affermò solo all'inizio del XVII secolo, quando Galileo, col suo cannocchiale, scoprì quattro corpi ruotanti intorno al pianeta Giove.

Oggi, in tutto il sistema solare, si conoscono 33 satelliti, molti dei quali si stanno rivelando interessanti quanto i pianeti. Essi, infatti, sono fisicamente del tutto simili ai pianeti. Come questi, sono astri che generalmente non irradiano luce e calore propri, possono o no possedere un'atmosfera e costituire quindi, eventualmente, un soggiorno di vita come la nostra Terra. Una sola caratteristica distingue i pianeti dai satelliti: mentre i primi circolano intorno al Sole, questi hanno, come centro del loro moto, un pianeta.

I satelliti oggi conosciuti sono così distribuiti: uno alla Terra, due a Marte, tredici a Giove, dieci a Saturno, cinque a Urano e, infine, due a Nettuno. I pianeti Venere, Mercurio e Plutone sono privi di satelliti, al-

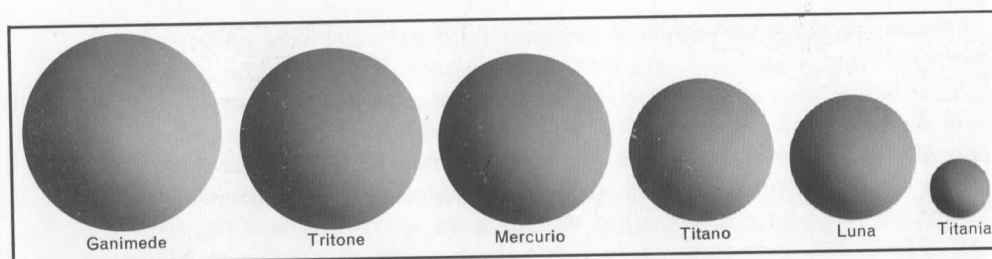


Fig.37 I più grandi satelliti di ogni pianeta del sistema solare confrontati con Mercurio.

meno abbastanza grandi da poter essere osservati con i nostri telescopi.

Genericamente si crede che i satelliti siano corpi celesti piccoli. Ciò non è sempre vero. Un satellite è certamente minore del pianeta intorno al quale si muove ma, poiché non tutti i pianeti del sistema solare sono uguali, può risultare maggiore di un altro pianeta. E infatti Ganimede e Callisto, satelliti di Giove, sono più grandi di Mercurio (Ganimede è grande quasi quanto Marte) e Titano, satellite di Saturno, è di poco inferiore a Mercurio. La Luna è superata soltanto da Io e da Europa, satelliti di Giove, e da Tritone, satellite di Nettuno, oltre che dai tre satelliti già nominati (FIG. 37). Vere e proprie lune in miniatura sono invece i due satelliti di Marte, Phobos e Deimos. Fotografie effettuate dal Mariner 9 alla fine di novembre del 1971, hanno mostrato che non sono corpi sferici

ma rocce cosparse di crateri e così irregolari che si potrebbe vedere il cielo anche guardando verso il basso, affacciandosi a qualche strapiombo netto come a un balcone (FIG. 38). Phobos, il più grande, è risultato avere un'accentuata forma ellissoidale, con assi della lunghezza di 19, 21,5 e 27 chilometri. Deimos, più piccolo e più rotondeggiante, ha un diametro medio di 13 km. Il giro di uno di quei corpi celesti potrebbe essere compiuto a piedi, con pochi salti; tanto più che la diminuita forza di gravità renderebbe un uomo, alla loro superficie, leggero come un turacciolo. Ma chi avrebbe il coraggio di fare un salto di fronte alla prospettiva di sfuggire nel vuoto?

Un'accurata relazione su quanto si sa sui satelliti richiederebbe un volume. Tuttavia in essa troveremmo solo informazioni storiche sulla loro scoperta, le descrizioni delle orbite e di alcune loro caratteristiche fisiche, come le dimensioni o lo splendore apparente, e niente di più. Questo perché sono ancora molto lacunose le nostre conoscenze proprio degli aspetti più interessanti riguardanti il suolo, l'atmosfera, le possibilità di ospitare una qualche forma di vita o di costituire un ambiente nel quale l'uomo potrebbe vivere. In questo senso i satelliti sono mondi ancora quasi com-

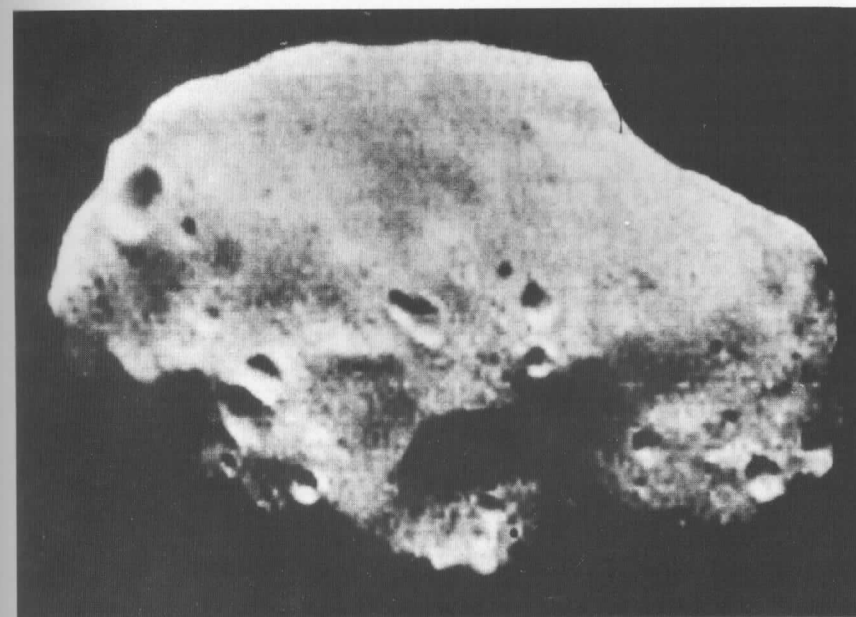


Fig.38 L'impressionante visione di Phobos, il maggiore dei satelliti di Marte, in una fotografia ottenuta dalla sonda Mariner 9 nel dicembre 1971. Arido e crivellato da crateri come la Luna, Phobos presenta inoltre paurose smussature dalle quali ci si potrebbe affacciare su una parte di cielo oppure sul pianeta Marte, vicinissimo ed enorme (NASA).

pletamente da scoprire. Quando saranno meglio conosciuti, molti di essi si riveleranno certamente ben più interessanti di quell'arido deserto roccioso che è la nostra Luna. Ganimede e Titano hanno sicuramente un'atmosfera, alcuni satelliti di Saturno sembra siano ricoperti di ghiaccio. Essi sembrano dunque molto più simili alla Terra e forse, per noi, più ospitali dei pianeti Giove e Saturno intorno ai quali circolano.

Sul mondo dei satelliti la mente può suggerirci fin da ora visioni fantastiche. Quanto dovrebbero apparire ricche le notti di Giove o di Saturno, rischiarate da diverse grosse lune e da altre minori, più deboli (perché più piccole e/o più lontane), in rapido moto sulla volta celeste! Dopo ciò che abbiamo scoperto sulla natura di Giove e di Saturno dovremo rassegnarci a concludere che un simile spettacolo non potrà mai essere osservato da occhi terrestri, così come nessun essere vivente potrà mai contemplare il sistema solare dalla superficie del Sole. Ma c'è uno spettacolo ancor più impressionante: quello visibile da un satellite di Giove o di Saturno. Da uno di quei mondi si possono vedere non solo gli altri satelliti, che rischiarano le notti in vario modo con l'alternarsi nel cielo e col mutare delle fasi, ma anche il pianeta principale intorno al quale il satellite ruota; in certe epoche illuminato in pieno, immenso, ricco di configurazioni dai vari colori, in altre in fasi parziali, fino a una sottile ma enorme falce racchiudente un disco nero, completamente privo di stelle, una specie di tassello circolare sulla volta celeste, che il pianeta copre e oscura nella zona sulla quale si proietta. Questo spettacolo, che la nostra fantasia può suggerirci ma che riesce a visualizzare solo inconpiutamente, potrà forse un giorno essere ammirato anche dall'uomo.

LE COMETE

La visione del sistema solare non è ancora completa. Altri corpi celesti, oltre ai pianeti, ai pianetini e ai satelliti, solcano lo spazio intorno al Sole, retti dall'attrazione dell'enorme astro centrale che li tiene in suo potere. Sono le comete: corpi di aspetto strano che pochi hanno visto ma dei quali non c'è persona al mondo che non abbia sentito parlare (FIG. 39).

La prima stranezza che colpisce nel loro studio è la forma delle orbite che percorrono. Come abbiamo visto, tutti i pianeti maggiori e anche gran parte dei pianetini, si muovono intorno al Sole su orbite pressoché circolari. Le comete, invece, no. Le loro orbite sono fortemente ellittiche, cioè estremamente schiacciate, per cui, nel corso di una sola rivoluzione intorno al Sole, una stessa cometa può trovarsi a una distanza minima dall'astro centrale notevolmente inferiore a quella della Terra e a una massima superiore a quella dei più lontani pianeti (FIG. 40). La celebre cometa di Halley, per esempio, si avvicina al Sole fino a 90 milioni di km



Fig.39 La grande cometa Ikeya-Seki fotografata da W. Liller nel cielo di Los Angeles il 29 ottobre 1965: comete così vistose sono piuttosto rare. A causa della lunga esposizione è visibile il bagliore notturno di Los Angeles, che disturba le osservazioni astronomiche.

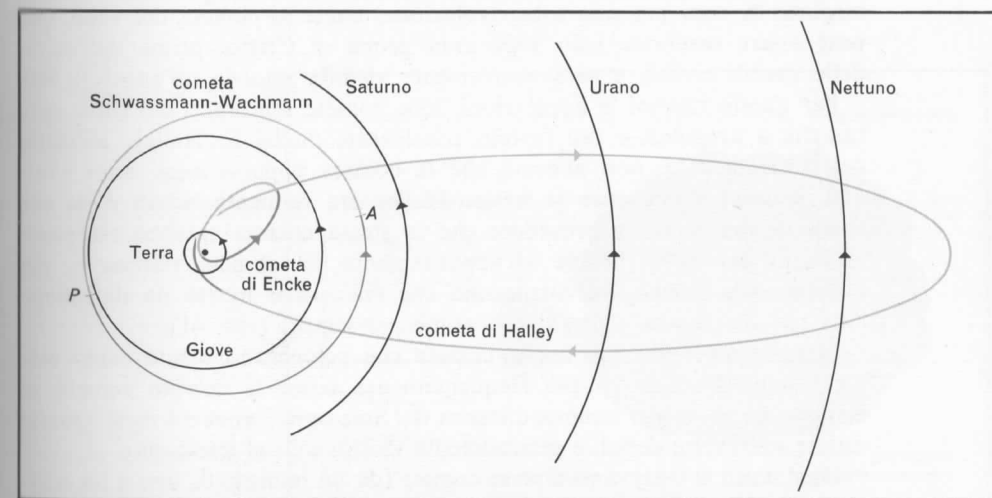


Fig.40 Orbite delle comete di Halley, Encke, Schwassmann-Wachmann proiettate sul piano dell'orbita terrestre (eclittica). La cometa di Halley si muove di moto retrogrado rispetto ai pianeti; le parti delle orbite in colore chiaro sono al di sotto del piano dell'eclittica.

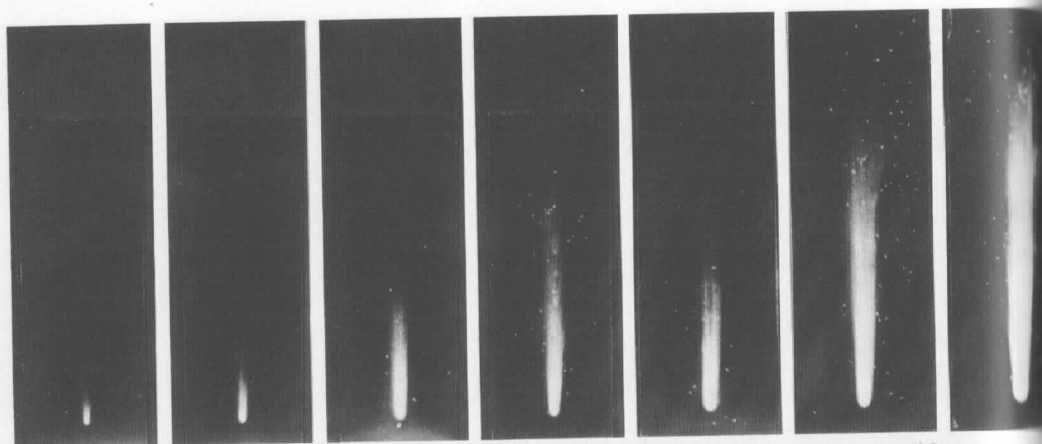


Fig.41 Qui e nella pagina a fronte la cometa di Halley fotografata nel 1910 all'Osservatorio di Mount Wilson nel corso del suo ultimo avvicinamento alla Terra e al Sole.

e poi si allontana fino a superare l'orbita di Nettuno. È evidente che per compiere un tale percorso occorre molto tempo (oltre 76 anni) e solo nei pochi mesi in cui è più vicina al Sole e alla Terra, la cometa diviene visibile a occhio nudo.

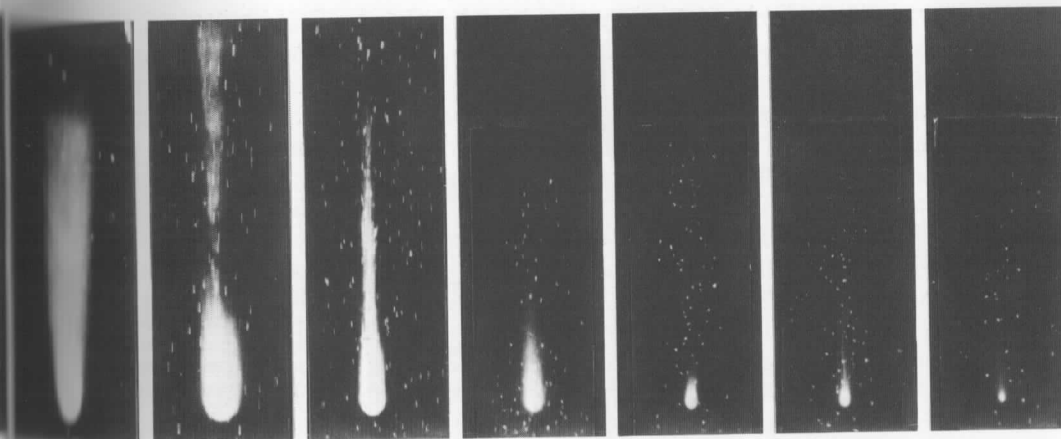
Alcune comete percorrono orbite così vaste da richiedere centinaia o migliaia di anni per una sola rivoluzione, come la cometa del 1680, che poté essere osservata solo 7000 anni prima di Cristo, prima dell'inizio delle grandi civiltà, e sarà nuovamente visibile intorno all'anno 10 500.

Per queste ragioni le apparizioni delle comete sembrano del tutto sporadiche e irregolari e tali furono considerate finché E. Halley, all'inizio del XVIII secolo, non affermò che la cometa apparsa negli anni 1531, 1607 e 1682 era sempre la stessa. Halley era talmente sicuro della sua scoperta che arrivò a prevedere che la stessa cometa sarebbe riapparsa all'inizio del 1759. Fedele all'appuntamento, la cometa riapparve, per brillare sulla tomba dell'astronomo che era ormai morto da diciassette anni ma che legava a essa il suo nome per sempre (FIG. 41).

Naturalmente vi sono anche comete che percorrono orbite meno ampie e riappaiono molto più frequentemente, come la celebre cometa di Encke, che passa alla minima distanza dal Sole ogni 3 anni e 4 mesi. Queste ultime sono tutte deboli e generalmente visibili solo al telescopio.

Ogni anno si osservano diverse comete (da un minimo di una a un massimo di 17¹), alcune mai osservate precedentemente, altre a uno dei loro

¹ Gli anni record delle comete sono stati, fino ad ora, il 1970 e il 1975, con 17 comete osservate.



Si noti l'evoluzione della chioma e della coda, nonché la variazione di velocità della cometa, rivelata dalla diversa lunghezza delle tracce lasciate dalle stelle durante le varie pose.

ritorni. Il fatto che le comete, pur appartenendo al sistema solare, percorrano orbite molto ampie e schiacciate, spiega la sporadicità delle loro apparizioni ma non giustifica come mai abbiano una forma così insolita e siano così diverse dai pianeti. Tuttavia essa può essere spiegata abbastanza bene interpretando il grandissimo numero di osservazioni fisiche finora raccolte.

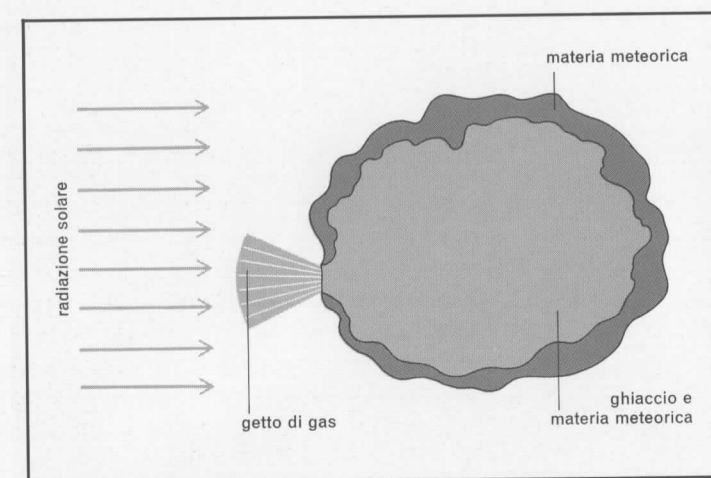


Fig.42 Schema del nucleo di una cometa periodica secondo il modello di Whipple; esso sarebbe composto soprattutto da ghiaccio sporco ricoperto da uno strato di materia meteorica.

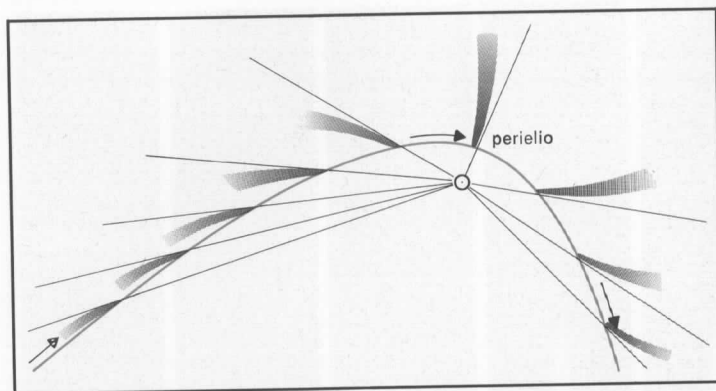


Fig.43 Orientazione della coda delle comete rappresentata in varie posizioni lungo l'orbita di una di esse: essa è sempre rivolta dalla parte opposta al Sole.

Secondo i risultati di queste osservazioni e le moderne vedute, le comete sono formate da una parte centrale più luminosa e più consistente, il nucleo, avvolta da un involucro più leggero, un po' allungato, la chioma, sfumante in una terza zona, la coda, composta da gas rarefattissimi che vanno a disperdersi nello spazio. Le prime osservazioni extraterrestri, compiute mediante satelliti artificiali, hanno rivelato che la testa di una cometa può essere enormemente più estesa della chioma. Osservazioni

ultraviolette della cometa Tago-Sato-Kosaka, compiute dallo spazio il 14 gennaio 1970, mostrarono un brillante involucro di idrogeno esteso fino a oltre 800 000 km dal nucleo, cosicché la testa di questa cometa, che osservata con i mezzi ordinari aveva un diametro di 150 000 km, era in realtà più grande del Sole. Da allora in poi larghi involucri d'idrogeno furono scoperti in tutte le comete che poterono essere osservate da veicoli fuori dell'atmosfera terrestre.

Il nucleo è un insieme di corpi solidi, del diametro di circa 10 km, formati da particelle metalliche e sostanze ghiacciate (FIG. 42). Questa specie di iceberg avrebbe una struttura porosa con spazi vuoti che giungerebbero a occupare fino al 95% del volume totale. Nonostante le dimensioni enormi che possono essere raggiunte dalla chioma e dalla coda (l'eccezionale cometa del 1843, con tutta la parte visibile della coda, raggiunse la lunghezza di 320 milioni di km) la massa totale delle comete è piccolissima, spesso molto più piccola di quella del nostro pianeta. La loro densità media risulta pure estremamente bassa: inferiore a quella del vuoto ottenuto nei nostri laboratori. È dunque ben giustificata la definizione dell'astronomo J. Babinet che le chiamava 'des riens visibles'. Meno giustificabili sono invece i timori manifestati talvolta dall'uomo per l'eventualità di un probabile investimento. Infatti, a meno che il nostro pianeta non venga colpito dal nucleo (evento estremamente improbabile ma che si è già ve-

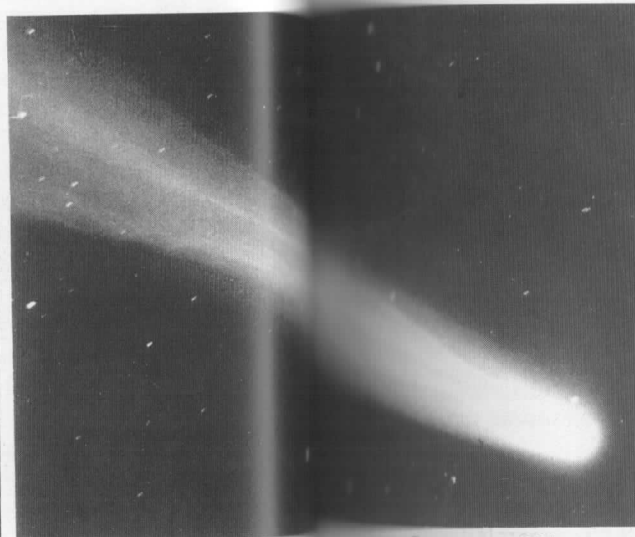


Fig.44 Qui e nella pagina a fronte la cometa Mrkos (1957d) fotografata col riflettore da 60 cm della stazione astronomica di Loiano (Bologna) rispettivamente nelle notti del 21, 26 e 27 agosto 1957.

La cometa Mrkos aveva due code: una incurvata a scimitarra, dovuta presumibilmente a polveri, che mantenne a lungo lo stesso aspetto; un'altra lunga e rettilinea, gassosa e di colore blu, in rapida evoluzione.

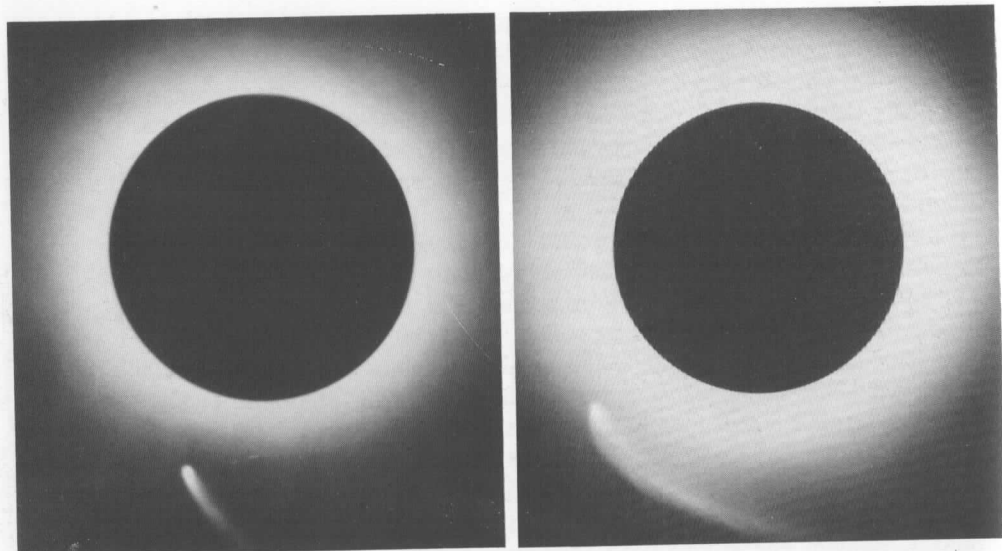


Fig.45 La cometa Ikeya-Seki, fotografata il 21 ottobre 1965 dalla stazione astronomica giapponese di Norikura, mentre stava rasentando il Sole, passando ad appena 464 000 km dalla sua superficie. Le due fotografie furono ottenute rispettivamente alle 2,20 e alle 3,27 di tempo universale. La cometa si spostava a grandissima velocità, apprezzabile facilmente dal confronto delle due fotografie, ottenute a poco più di un'ora di distanza l'una dall'altra. La coda restava molto indietro rispetto alla congiungente Sole-cometa, poiché la velocità della testa della cometa stessa era molto più grande di quella con cui il materiale, che fuoriusciva dal nucleo, si allontanava per andare a formare la coda (per cortesia di F. Moriyama).

rificato, almeno nel 1908), l'umanità non potrà mai risentire il minimo inconveniente poiché l'eventuale attraversamento della coda di una cometa potrebbe risolversi, al massimo, in una pioggia di stelle cadenti.

Le comete non presentano normalmente il consueto aspetto di astro chiomato. A grandi distanze dal Sole, nelle remote profondità dello spazio, una cometa si riduce a una enorme sfera, formata da elementi progressivamente più densi, in vicinanza del centro. Nell'avvicinarsi al centro del sistema solare, forze repulsive, provenienti dal Sole, agiscono sulle parti più leggere dell'involucro e spostano gli strati meno densi rispetto al nucleo, formando la chioma e la coda.

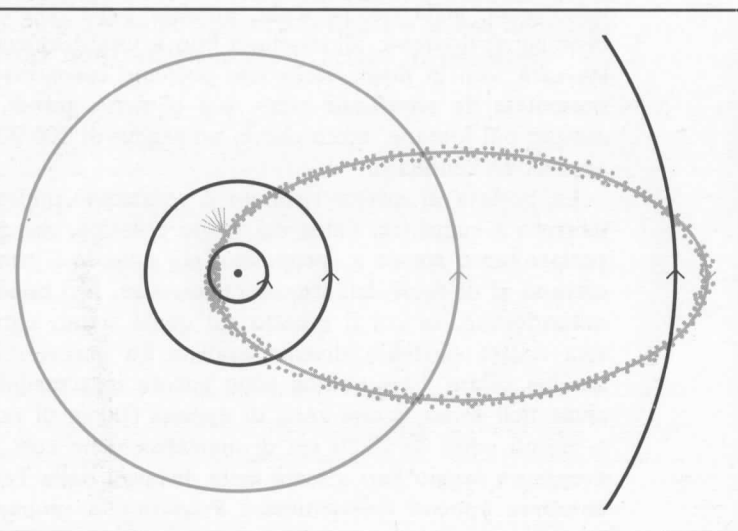
Chioma e coda sono dunque sempre opposte al Sole: così, quando la cometa si avvicina avanza con la testa, mentre quando si allontana avanza con la coda (FIG. 43).

Insomma, chi veste la cometa è il Sole ed è dall'attività solare (oltre che da altre cause inerenti alla cometa) che dipende notevolmente l'aspetto sotto il quale questi astri si mostrano a noi, aspetto che in generale varia notevolmente da una sera all'altra e anche nel giro di poche ore (FIG. 44).

Alcune comete, nella loro crescente corsa verso il Sole, giungono fino a penetrare nelle sue parti più esterne e a sfidare le fiamme della cromosfera. Fino a oggi se ne conoscono otto. Cinque erano già state studiate nel secolo scorso, le altre sono state osservate negli anni 1945, 1963 e 1965. L'ultima di queste è la cometa Ikeya-Seki che l'astronomo giapponese Moriyama ha potuto sorprendere in due momenti della sua impressionante avventura solare (FIG. 45). Secondo B. G. Marsden, che ha confrontato l'orbita di questa cometa con quella della 1882 II, entrambe le comete derivano da quella osservata nel 1106, spezzatasi in due in occasione di uno dei suoi successivi passaggi in prossimità del Sole.

Come appare da quanto si è visto finora, la storia di una cometa non si limita a una fugace apparizione quando si adorna di una splendida chioma mentre precipita a velocità vertiginosa verso il Sole, poiché essa non cade sul Sole ma lo aggira e poi gli sfugge lontano, come il sasso lanciato da una fionda. Questo per decine, centinaia di volte, a intervalli di pochi anni o di millenni. E ogni volta che il Sole veste la cometa della chioma e della coda si serve di materia che sottrae alla cometa stessa e che soffia via e disperde nello spazio interplanetario. A ogni ritorno, la cometa si assottiglia e quando finalmente ha perduto una parte notevole della propria massa iniziale le forze disgregatrici hanno il sopravvento sulla gravità (che tendeva a mantenerla compatta) e la materia che la compone si dissolve lungo l'orbita sotto forma di macigni, ciottoli, gas e pulviscolo, che continuano a muoversi nello spazio come un enorme scia-

Fig.46 Incrocio tra l'orbita terrestre e l'orbita di una cometa; quando la Terra attraversa il punto d'incrocio, si verifica una pioggia di meteore, che di solito prende il nome dalla cometa.



me. Quando il nostro pianeta, nel corso della sua rivoluzione intorno al Sole, passa nei pressi di uno di questi sciame, molte particelle, sollecitate dall'attrazione terrestre, cadono verso la Terra; entrando nella nostra atmosfera s'incendono e si dissolvono, dopo aver tracciato per pochi istanti una scia luminosa nel nostro cielo e i frammenti della cometa vivono gli ultimi momenti della loro vita mostrandosi a noi come stelle cadenti (FIG. 46).

Termina così la nostra escursione nel sistema solare. Partiti dal corpo più vicino alla Terra, abbiamo incontrato, dapprima, il più grande, il Sole, poi tanti altri minori come i pianeti, i pianetini, i satelliti e le leggere, evanescenti comete, fino a scoprire che, insieme con tutti questi oggetti più o meno grandi, circolano intorno al Sole particelle piccolissime, ciottoli e polveri celesti, anch'essi facenti parte di questo enorme sistema del diametro di quasi 12 miliardi di km.

Dato che a questo punto la mente comincia a valutare molto male le distanze e le dimensioni reali, tratteremo un nuovo quadro del sistema solare nello spazio, riducendo tutte le dimensioni a un decimiliardesimo del loro valore.

In questo modello in scala ridotta, il Sole diverrà una palla del diametro di 14 cm; la Terra sarà rappresentata da un granello di miglio a 15 m di distanza con accanto, a 4 cm, una sferetta del diametro di 0,3 mm (la Luna); a 78 m dal Sole porremo Giove (basterà una pallina); a 600 m Plutone, un granello di miglio più piccolo di quello rappresentante la Terra, segnerà i limiti del sistema planetario. Il mondo delle stelle è molto al di là di questi limiti. Prima di incontrare la stella più vicina (un altro sole, ossia, nella nostra scala, un'altra palla con un diametro di pochi centimetri) dovremo allontanarci fino a una distanza di 4000 km. E questa sarà solo la prima stella che potremo incontrare. Le altre sono rappresentate da altrettante sfere, più o meno grandi delle precedenti, ma sempre più lontane, tanto che in un raggio di 200 000 km ne conteremo appena un centinaio.

La portata di questo risultato è veramente impressionante e comincia davvero a suggerirci l'idea del vuoto cosmico, del quale avevamo sentito parlare tanto spesso a sproposito, già quando i primi astronauti si affacciavano al di fuori dell'atmosfera terrestre. Nel quadro ridotto a un decimiliardesimo, in cui il mondo sul quale siamo nati e trascorriamo l'intera nostra esistenza diventa appena un granello di miglio e l'enorme sistema solare, i cui confini sono ancora inaccessibili alla diretta esplorazione dell'uomo, è una zona di appena 600 m di raggio, le stelle, ridotte a piccoli corpi di 10-20 cm di diametro, sono così rare che in una sfera avente un raggio pari a metà della distanza dalla Terra alla Luna ne conteremo appena un centinaio. Proviamo a immaginare una sfera così

enorme, poniamoci dentro a caso, qua e là, solo un centinaio di oggetti, più piccoli di un pallone da calcio, e avremo un'idea dell'immensità dello spazio cosmico. Quello spazio che ospita il mondo delle stelle, al di là dei limiti del sistema solare.

Ma non è ancora tutto. Abbiamo visto che già alla distanza di Urano il Sole era ridotto a una stella, sia pure brillantissima. Ai confini del sistema solare la sua presenza in cielo non è più sufficiente a dissipare le tenebre della notte e per trovare un'altra sorgente di luce dovremo giungere nei pressi della stella più vicina, superando un percorso ottomila volte più lungo di quello, già enorme, che ci ha portato dal Sole al bordo del sistema solare. E così, di nuovo, se da quella stella vorremo raggiungerne un'altra: appena cominceremo ad allontanarci ci ritroveremo nel buio, un buio non cupo e tenebroso ma punteggiato da miriadi di stelle come quello delle nostre notti più profonde.

La notte. Questo è dunque l'aspetto normale dello spazio cosmico. Il giorno, nel quale si svolge la maggior parte della nostra vita attiva e che per questo a noi appare tanto normale da sembrarci impossibile che vi siano luoghi in cui non esiste mai, non è un fenomeno diffuso ma un evento rarissimo, che si verifica solo alla superficie di pianeti vicini al loro sole e provvisti di un'atmosfera che ne diffonde la luce. Altrove, dovunque, regna la notte.

Notte ma non tenebre. Perché come la notte stellata che segue il giorno, con lo sparire di un sole ce ne mostra migliaia, così questa notte cosmica, tanto simile a quella terrestre, ci schiude le vie del firmamento, verso nuove terre e nuovi soli, verso oggetti misteriosi, impressionanti e stupendi, verso i confini dell'universo, dove aneliamo scoprire l'origine e la fine delle cose e, trovando il perché del tutto, capire anche il perché di noi stessi.