

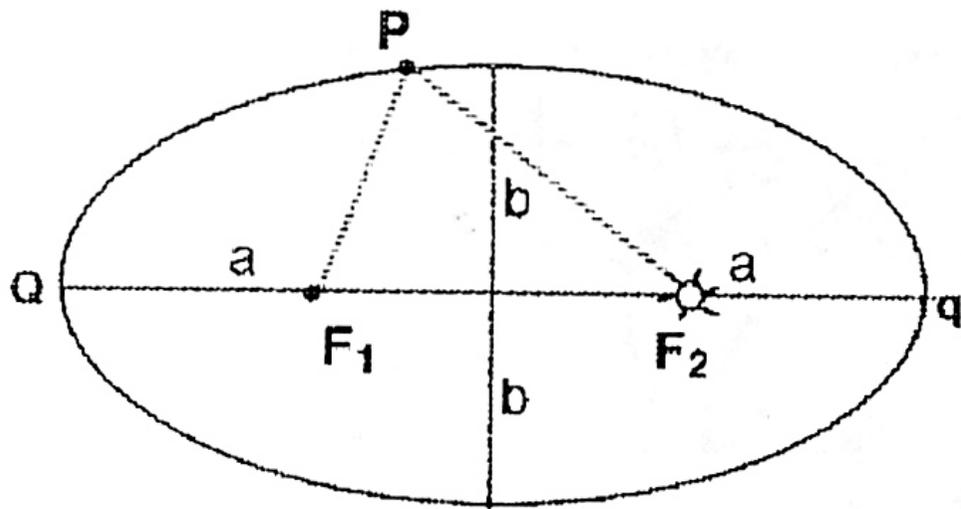
Figura 1. Epicicli e deferenti.

Le Leggi di Keplero

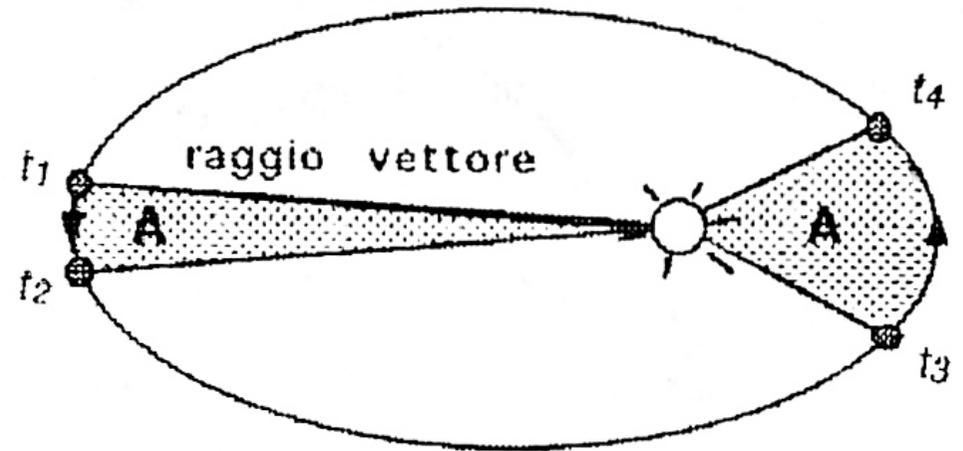
Prima legge di Keplero: i pianeti ruotano attorno al Sole descrivendo delle ellissi, di cui il Sole occupa uno dei due fuochi.

Seconda legge di Keplero: il raggio vettore descrive aree uguali in tempi uguali.

Terza legge di Keplero: il quadrato del periodo di rivoluzione attorno al Sole è proporzionale alla terza potenza del semiasse maggiore.



$$\overline{F_1P} + \overline{F_2P} = 2a$$



$$\Delta t = t_2 - t_1 = t_4 - t_3$$

Figura 2. Caratteristiche geometriche e fisiche delle orbite ellittiche. In base alla terza legge di Keplero, un corpo celeste descrive aree uguali in tempi uguali: i due tratti di orbita corrispondenti alle due aree uguali A vengono percorsi nello stesso intervallo di tempo Δt , quindi con velocità diverse.

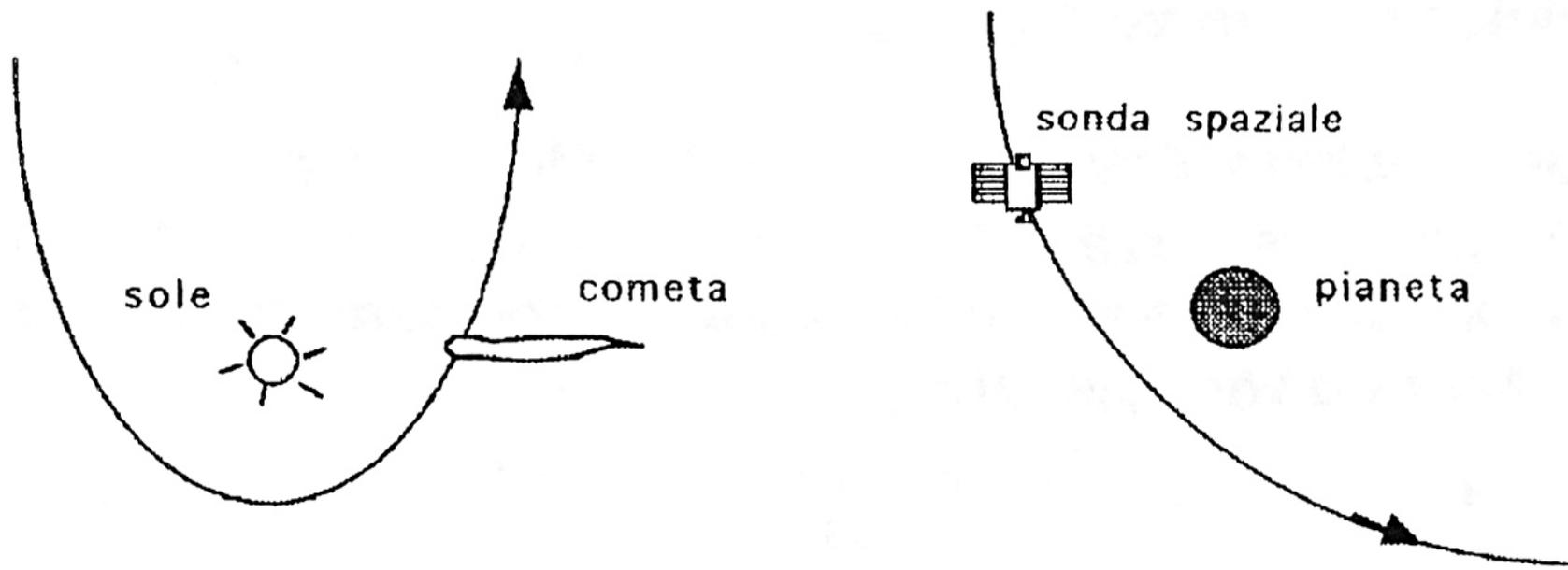


Figura 3. Le traiettorie paraboliche sono percorse da molte comete, mentre le traiettorie iperboliche vengono percorse dalle sonde spaziali durante passaggi particolarmente ravvicinati a un pianeta.

La gravitazione universale

Due corpi qualsiasi dotati di massa (M_1 , M_2) si attraggono reciprocamente con una forza F tanto maggiore quanto più grande è il valore delle loro masse ed inversamente proporzionale al quadrato della distanza d che li separa:

$$F = - G \frac{M_1 M_2}{d^2}$$

Questa formula racchiude nella sua semplicità tutti gli elementi necessari alla comprensione del moto dei corpi celesti. Da essa, sostituendo le masse M_1 e M_2 con quelle del Sole e di un pianeta, si possono ricavare, per via puramente analitica, le tre leggi di Keplero. Il segno negativo indica che la forza è di carattere attrattivo, mentre G è la *costante di gravitazione universale*, necessaria per calcolare correttamente l'entità della forza stessa, ed è quindi stata determinata sperimentalmente.

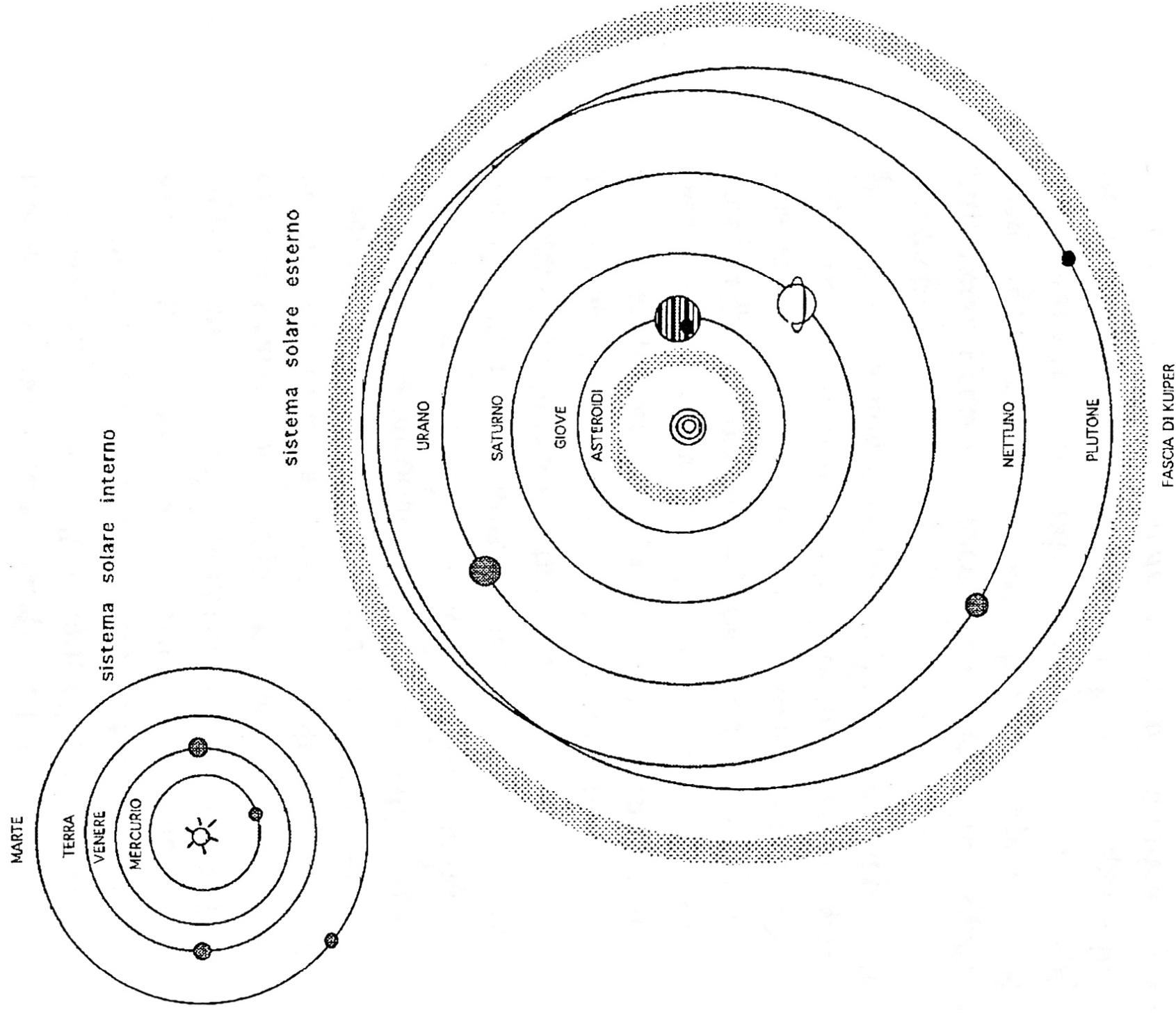


Figura 4. Il sistema solare. Le orbite dei pianeti, con l'eccezione di quelle di Mercurio e Plutone, sono quasi circolari. Tra Marte e Giove orbita la maggior parte degli asteroidi, mentre al di là dell'orbita di Plutone si sono scoperti i primi componenti di una popolazione di piccoli corpi ghiacciati.

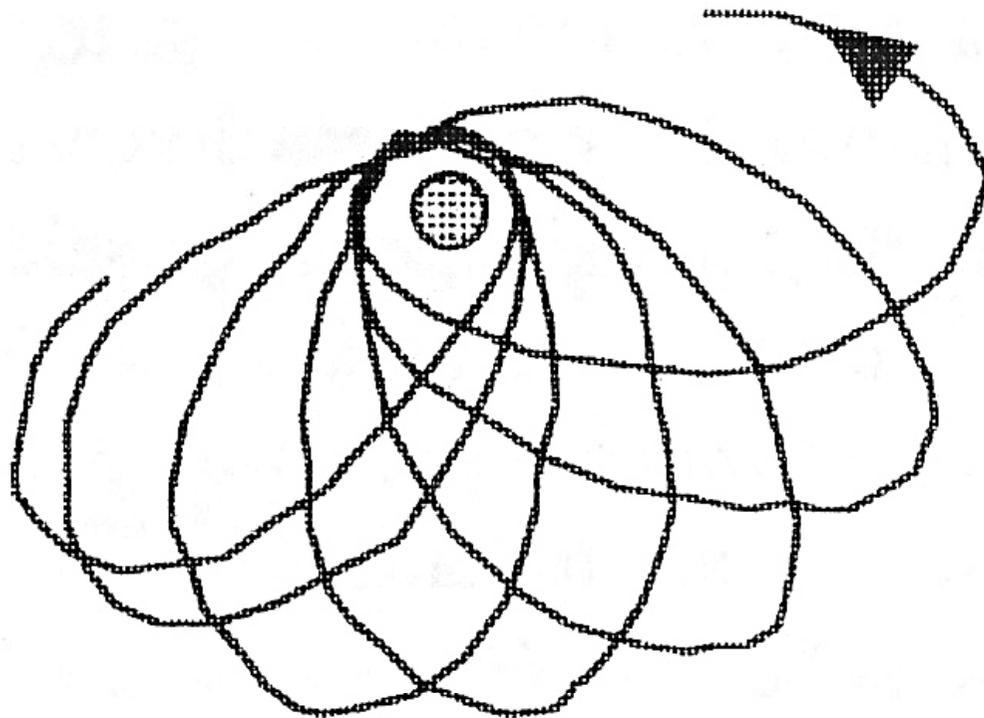


Figura 5. Le perturbazioni fanno cambiare con continuità la forma di un'orbita. Una delle conseguenze più comuni è la rotazione dell'orbita nel suo stesso piano: la traiettoria risultante assomiglia ancora a un'ellisse, ma non è più una curva chiusa.

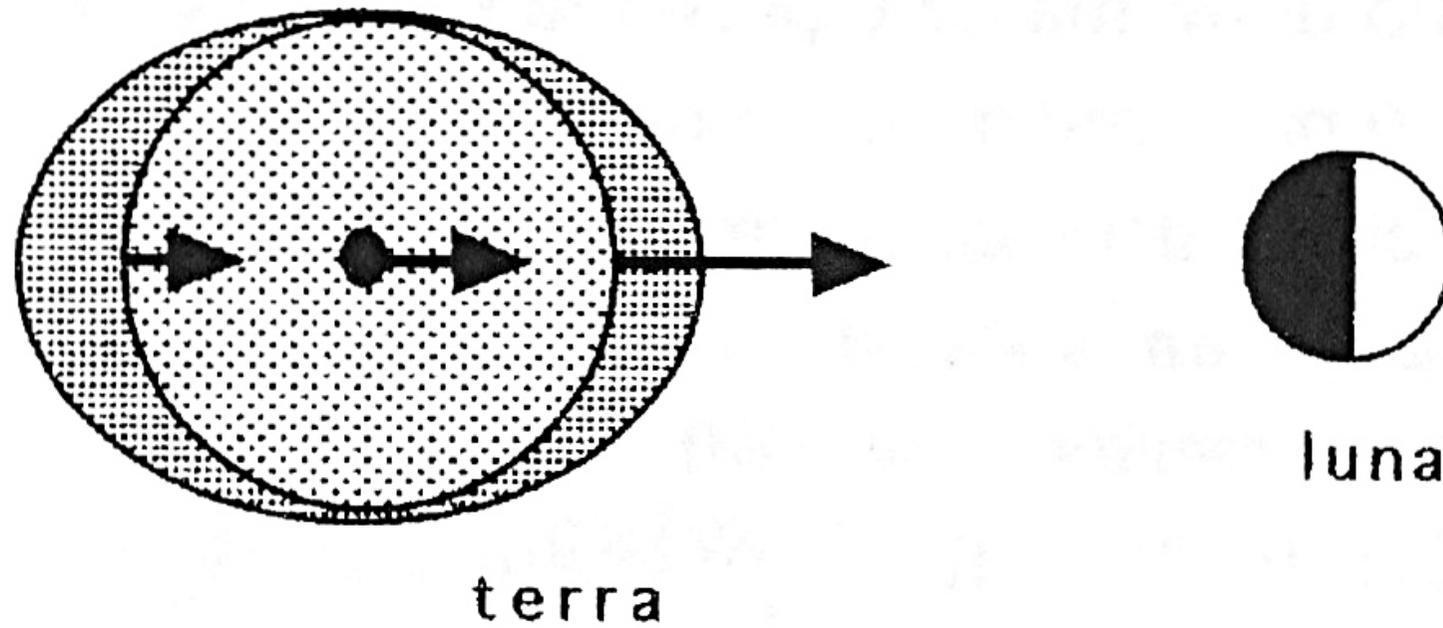


Figura 6. Gli oceani vengono sollevati dalla forza di attrazione della Luna, che è maggiore nelle regioni a essa più vicine. La rotazione terrestre che li trascina nel suo moto genera l'alternarsi delle maree.

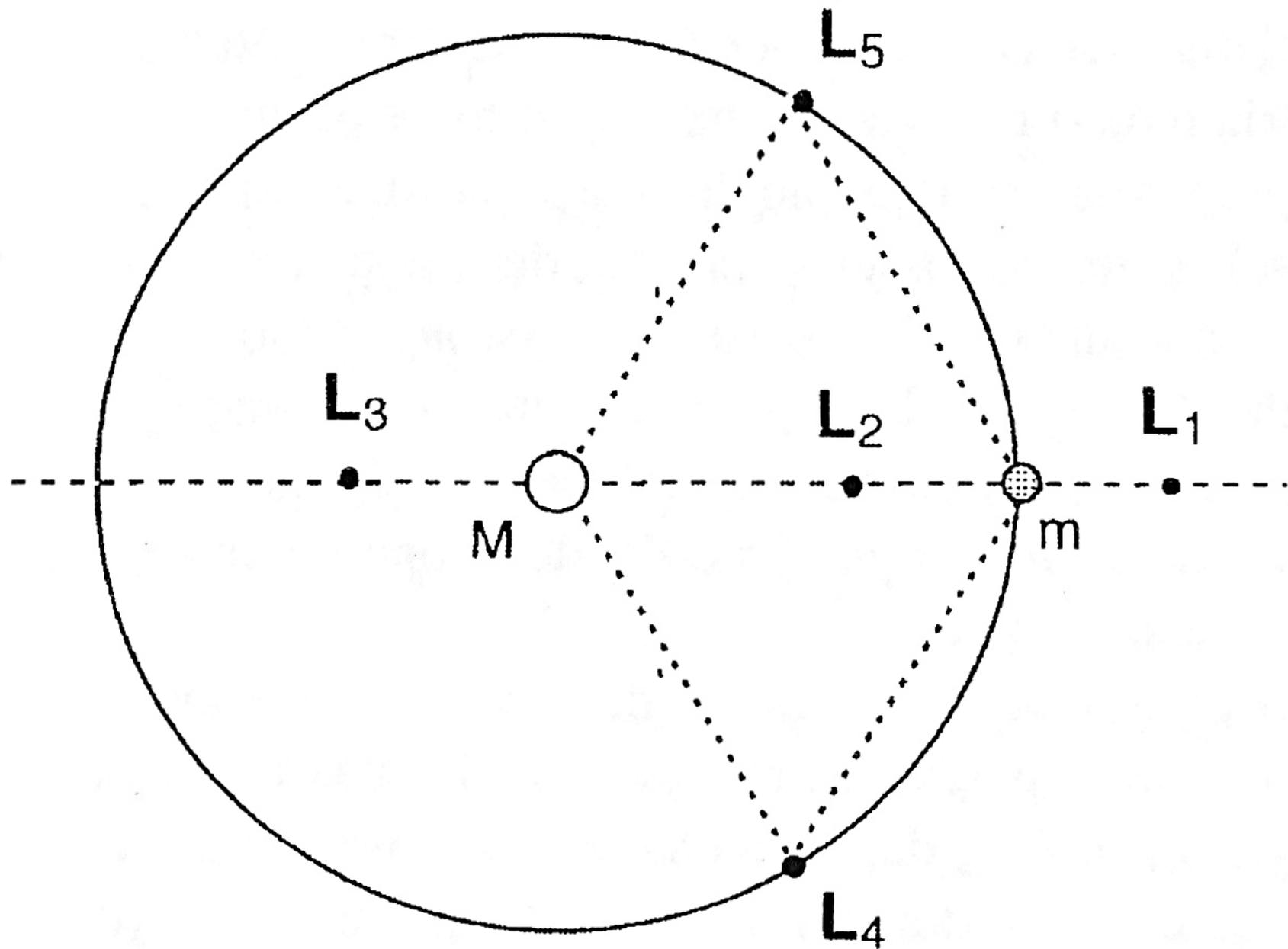


Figura 7. La dislocazione dei punti lagrangiani di equilibrio nel problema dei tre corpi.

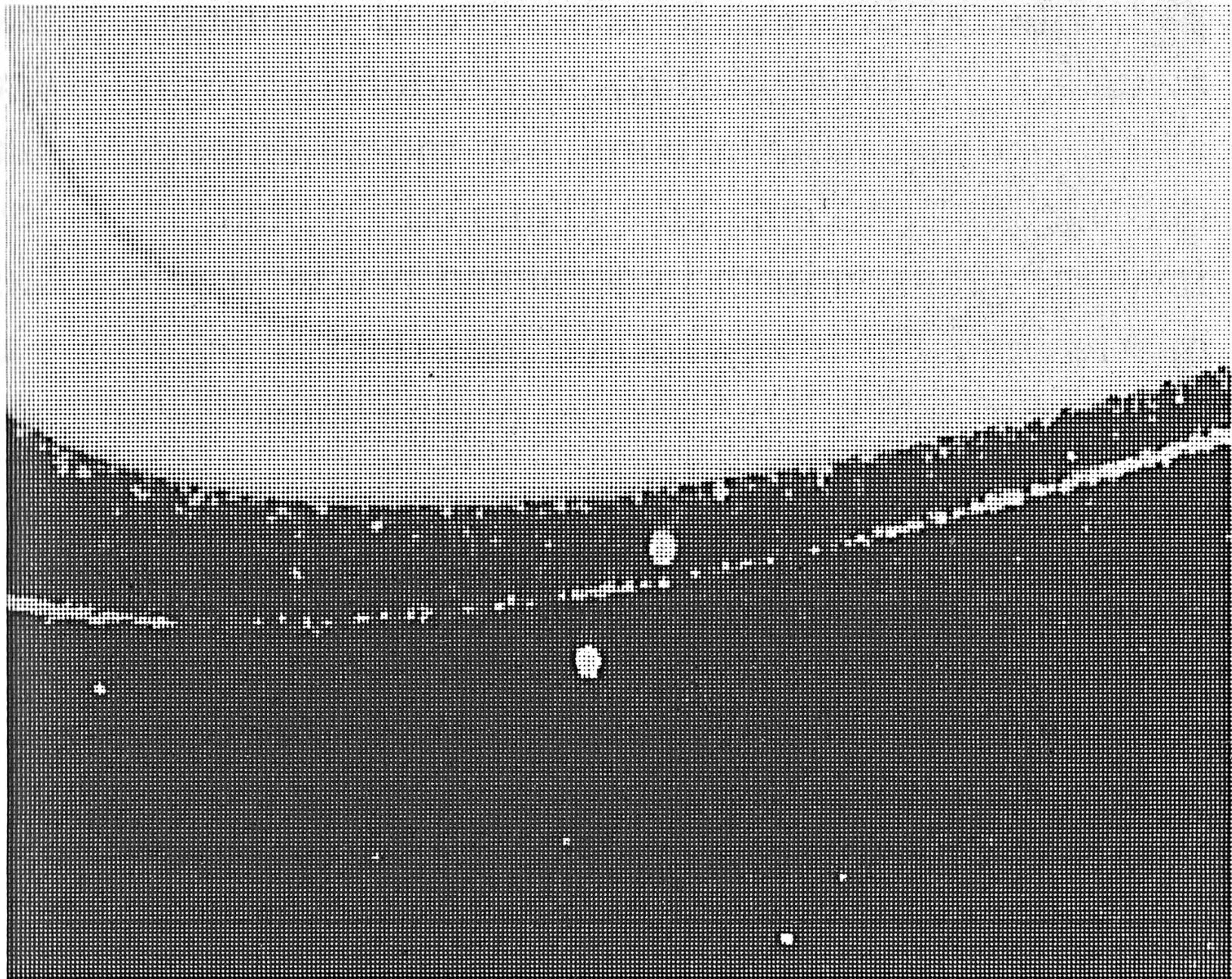


Figura 10. Prometeo e Pandora, le due piccole lune di Saturno che orbitano ai due lati dell'anello F.

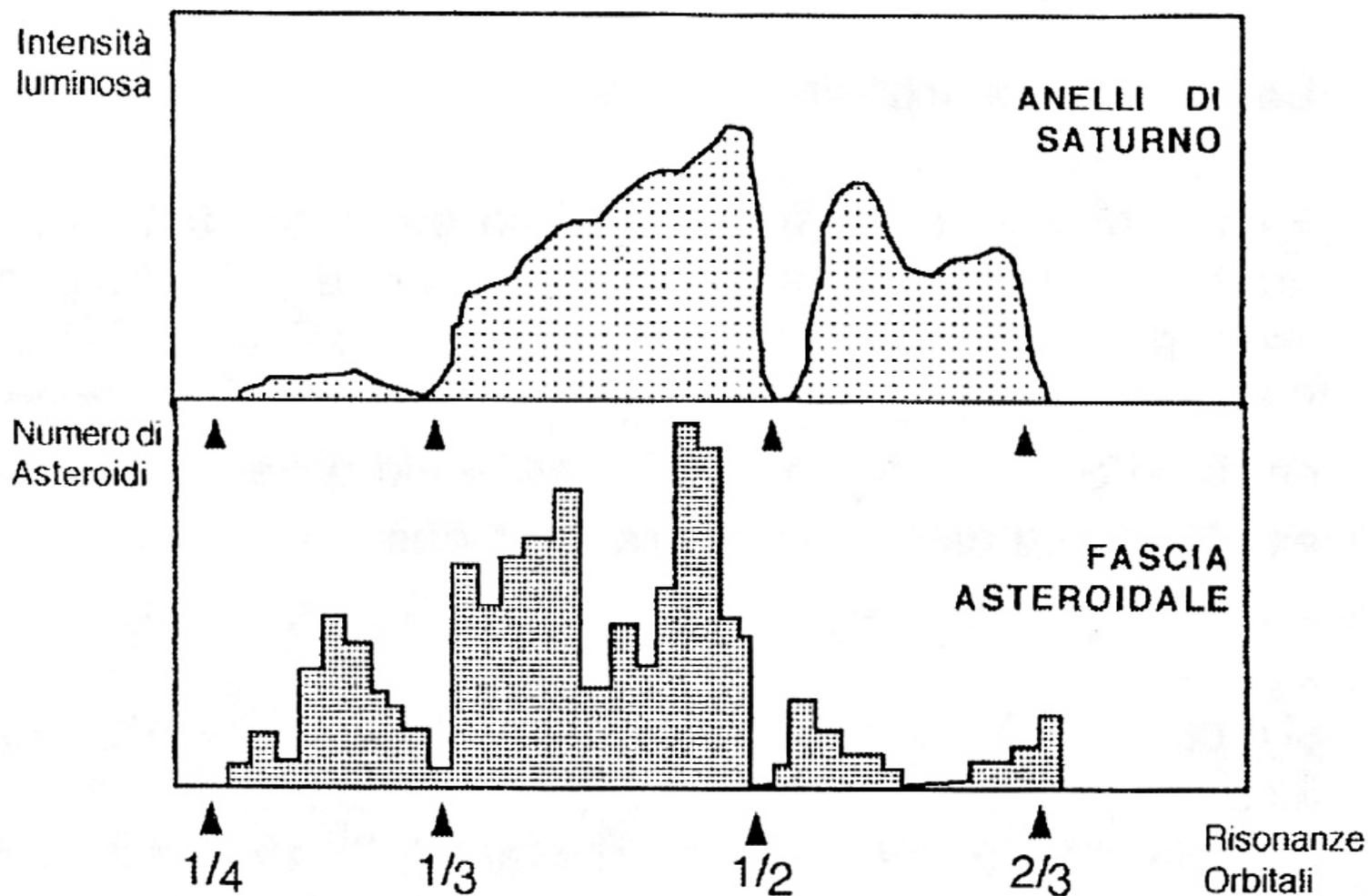


Figura 12. Istogramma che mostra la distribuzione degli asteroidi nella fascia principale (sotto): sono evidenti le zone vuote e piene corrispondenti alle risonanze orbitali. Questo istogramma ha una significativa similitudine con quello relativo alla distribuzione delle particelle che compongono gli anelli di Saturno (sopra).

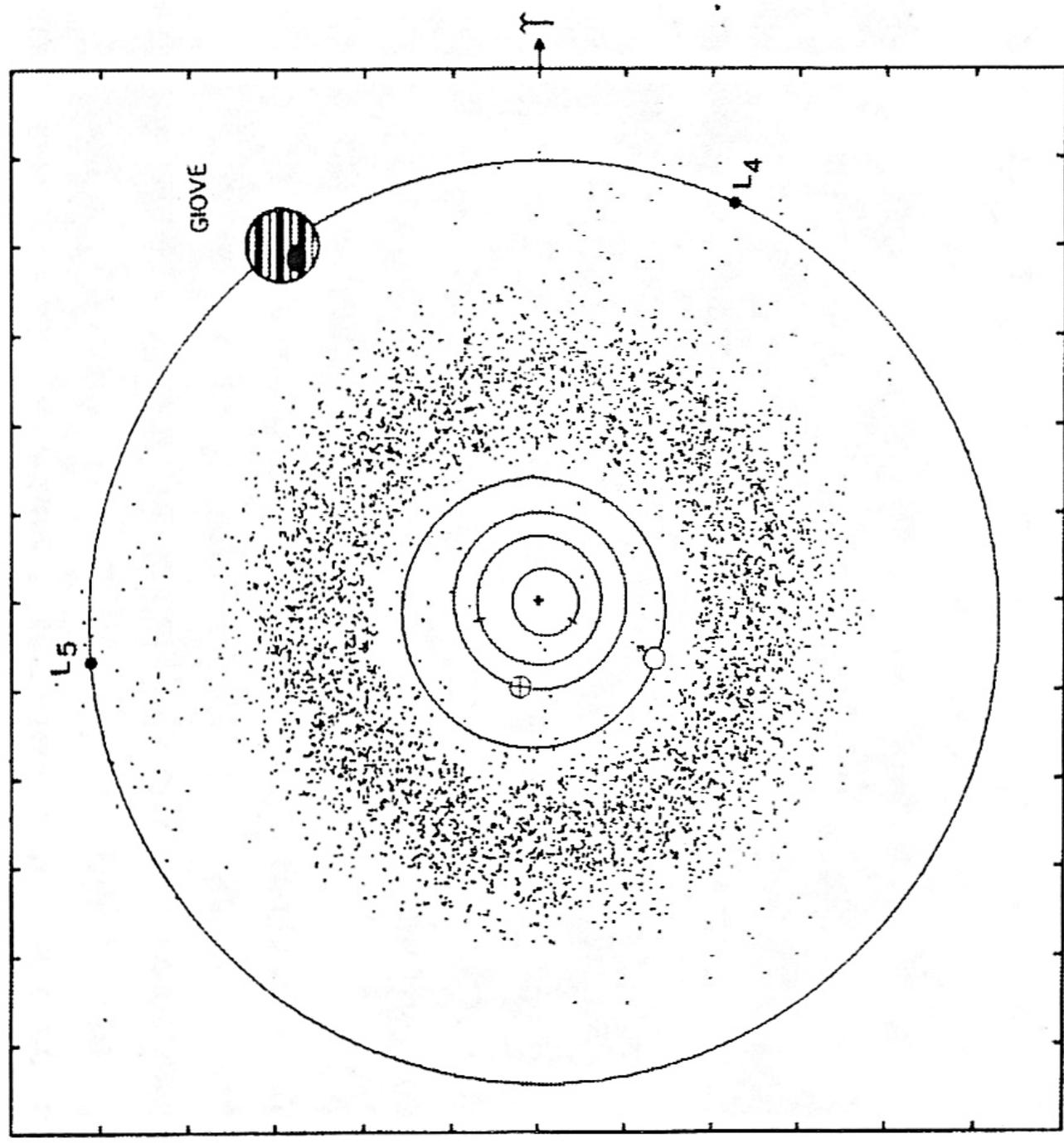


Figura 13. Posizione dei pianeti e di oltre 4000 asteroidi. Si riconoscono i raggruppamenti dei Greci e dei Troiani (attorno ai punti lagrangiani triangolari) e alcuni oggetti (asteroidi Apollo-Amor) che si spingono fin dentro le orbite dei pianeti interni.

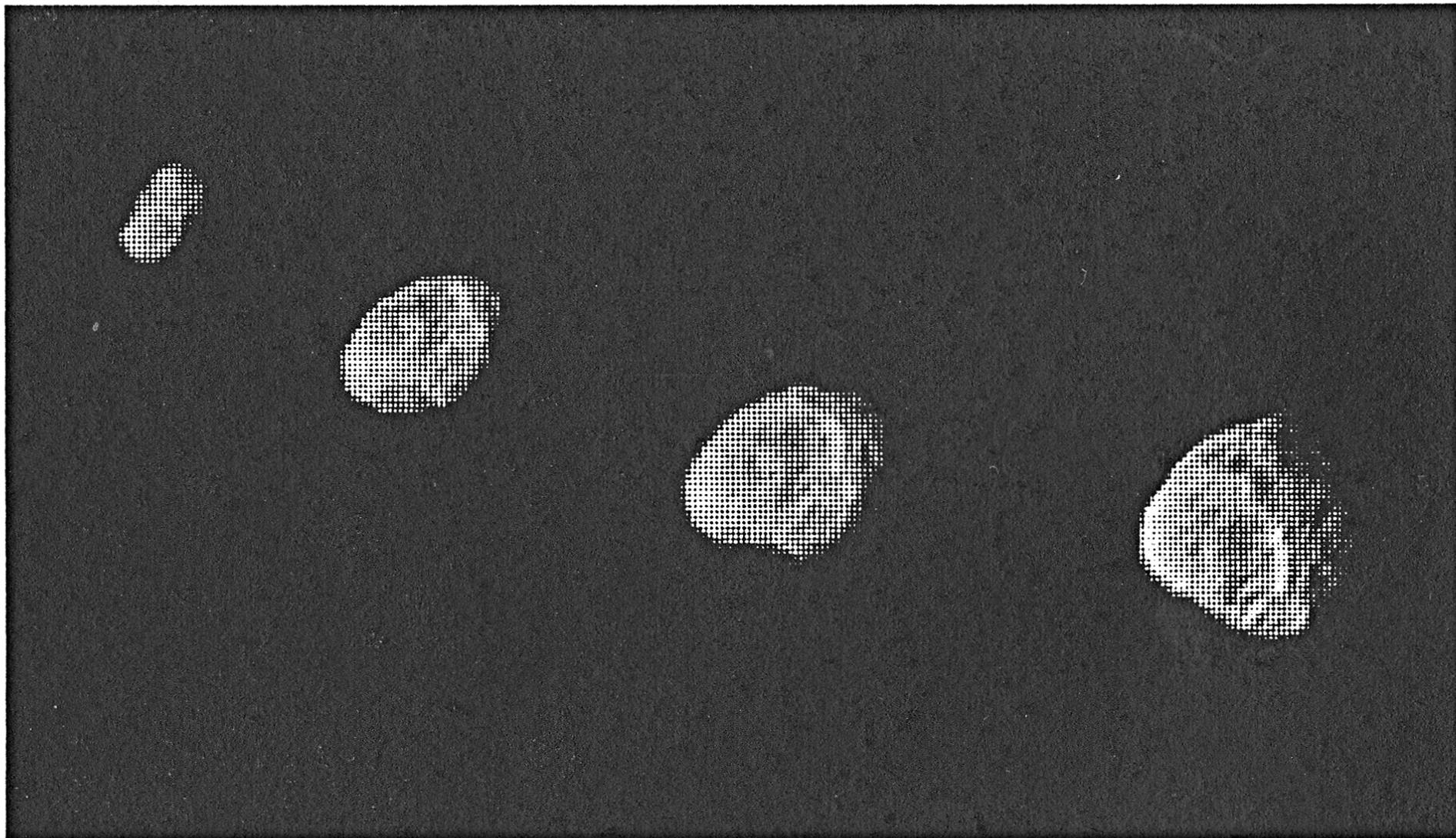


Figura 15. La strana forma di Iperione, qui fotografato dal Voyager 2 da quattro diverse angolazioni, gli ha valso il soprannome scherzoso di "hamburger".

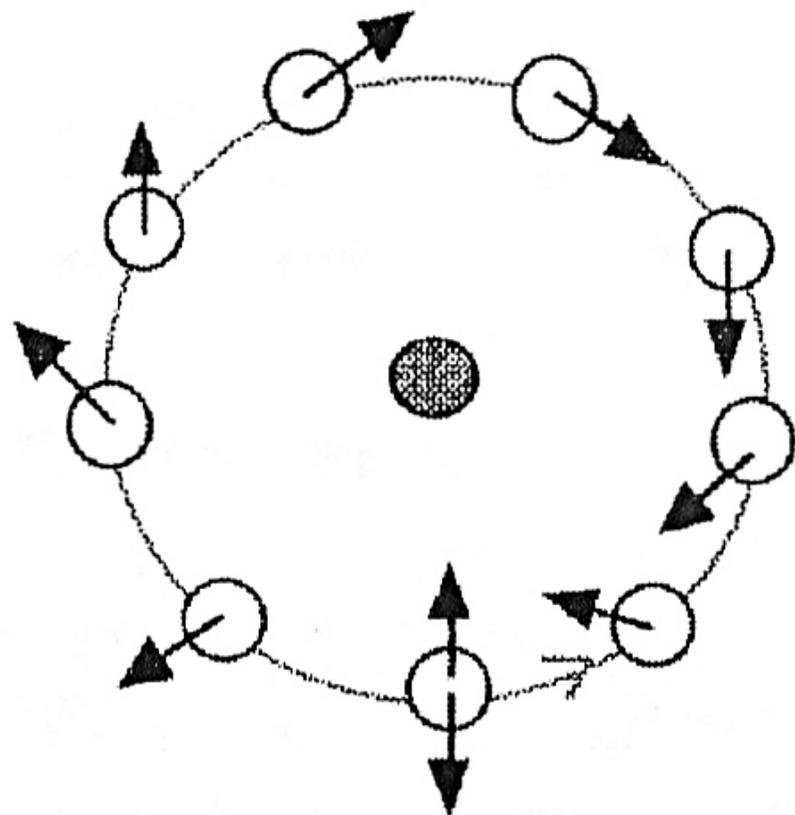
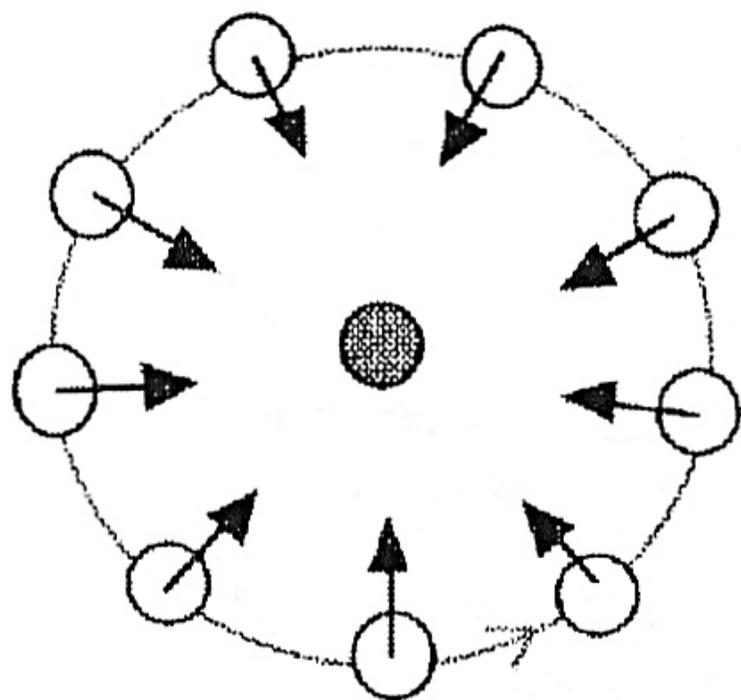


Figura 17. Nella risonanza 1/1 (a sinistra) un satellite, dopo aver completato un'orbita, si ritrova con la stessa orientazione rispetto al pianeta. Nella risonanza 3/2, invece (a destra), alla fine dell'orbita si trova ad avere un'orientazione opposta poiché, durante il suo cammino, ha compiuto una rotazione e mezza attorno al proprio asse. Per tornare nell'orientazione di partenza gli sarà necessario completare un'altra orbita.

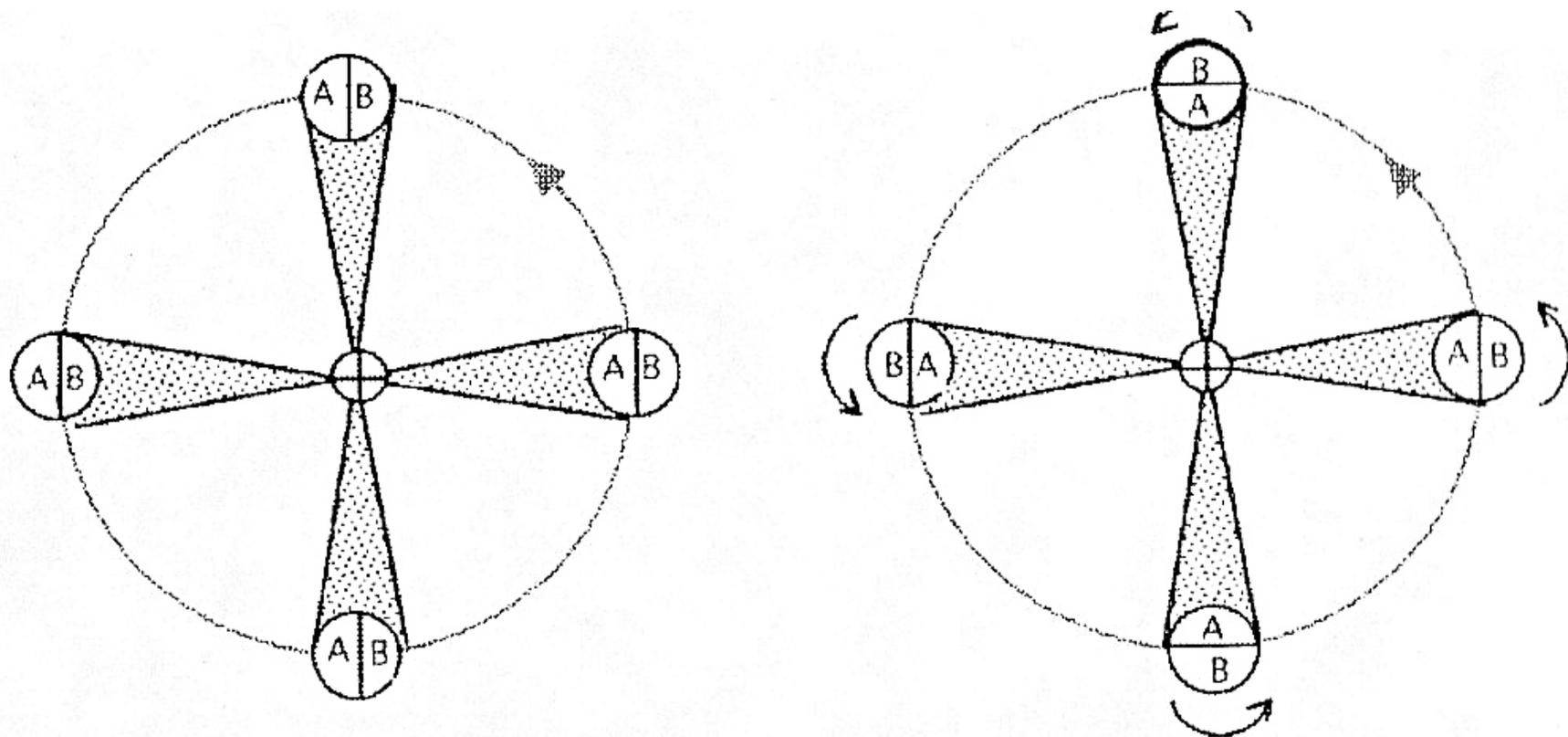


Figura 18. Se la Luna non ruotasse affatto (a sinistra), nel corso di un'orbita mostrerebbe al nostro pianeta tutte le sue facce. Invece la Luna, compiendo una rotazione attorno al suo asse proprio nello stesso tempo impiegato a completare un'orbita (risonanza sincrona, a destra), mostra alla Terra sempre la stessa faccia.

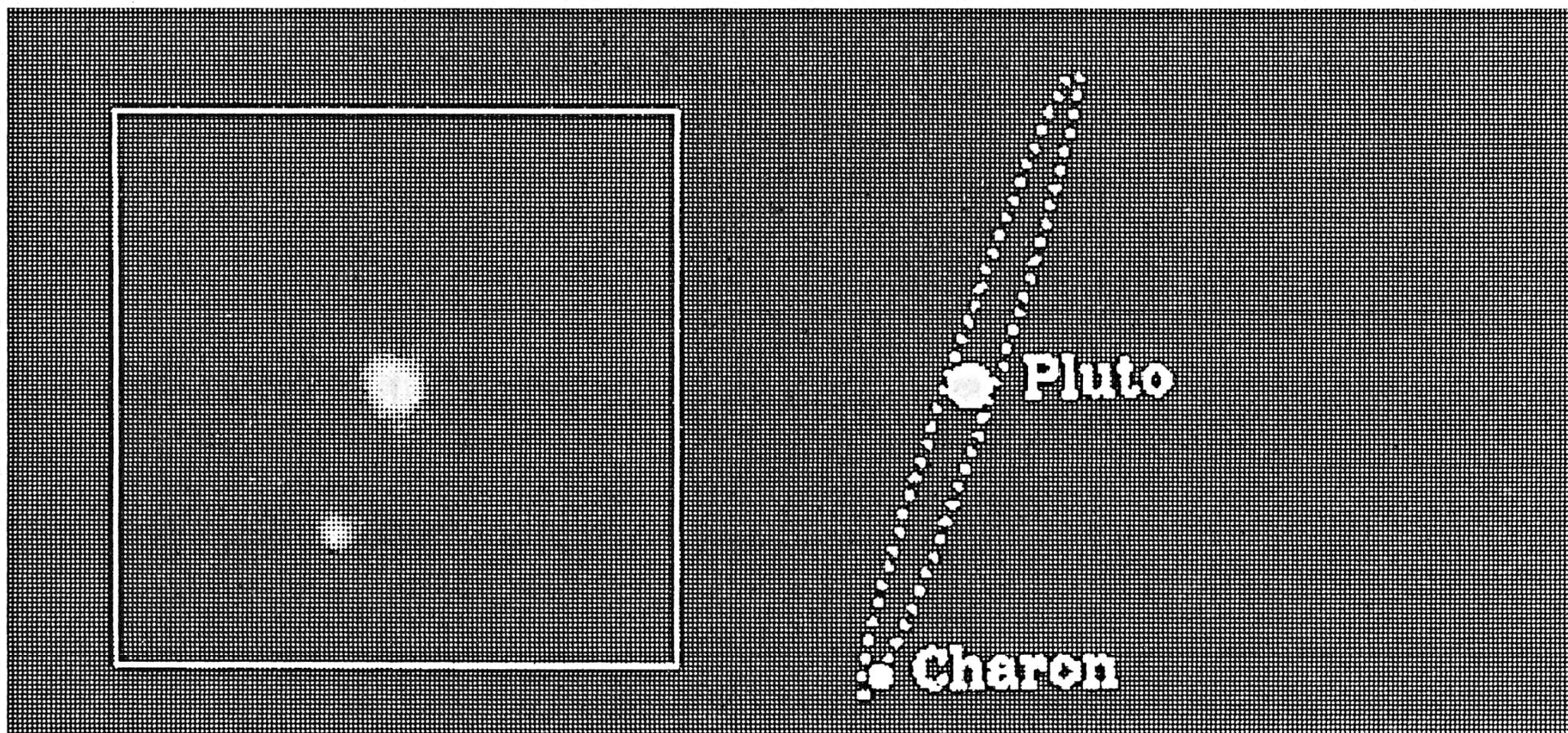


Figura 20. La prima chiara immagine di Plutone e del suo satellite Caronte è stata ripresa dallo Hubble Space Telescope.

TABELLA. L'obliquità dei pianeti.

pianeta	obliquità
MERCURIO	0°
VENERE	177°
TERRA	23°
MARTE	25°
GIOVE	3°
SATURNO	26°
URANO	98°
NETTUNO	28°
PLUTONE	123°

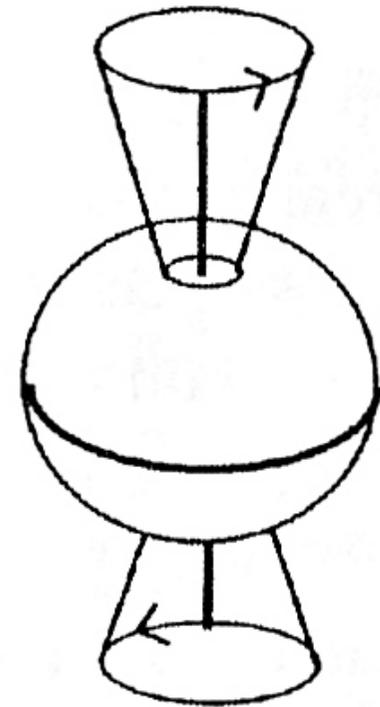
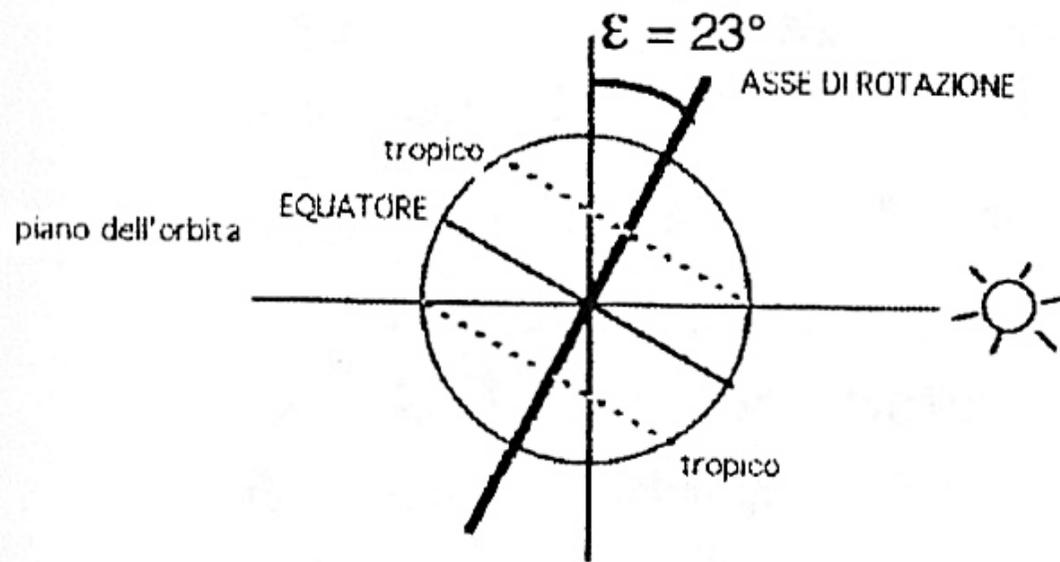


Figura 21. L'obliquità di un pianeta (a sinistra) è data dall'inclinazione del suo asse di rotazione rispetto al piano dell'orbita. In generale l'asse di rotazione, oltre a essere inclinato, descrive lentamente un cono (a destra): questo lento movimento è detto "moto di precessione".

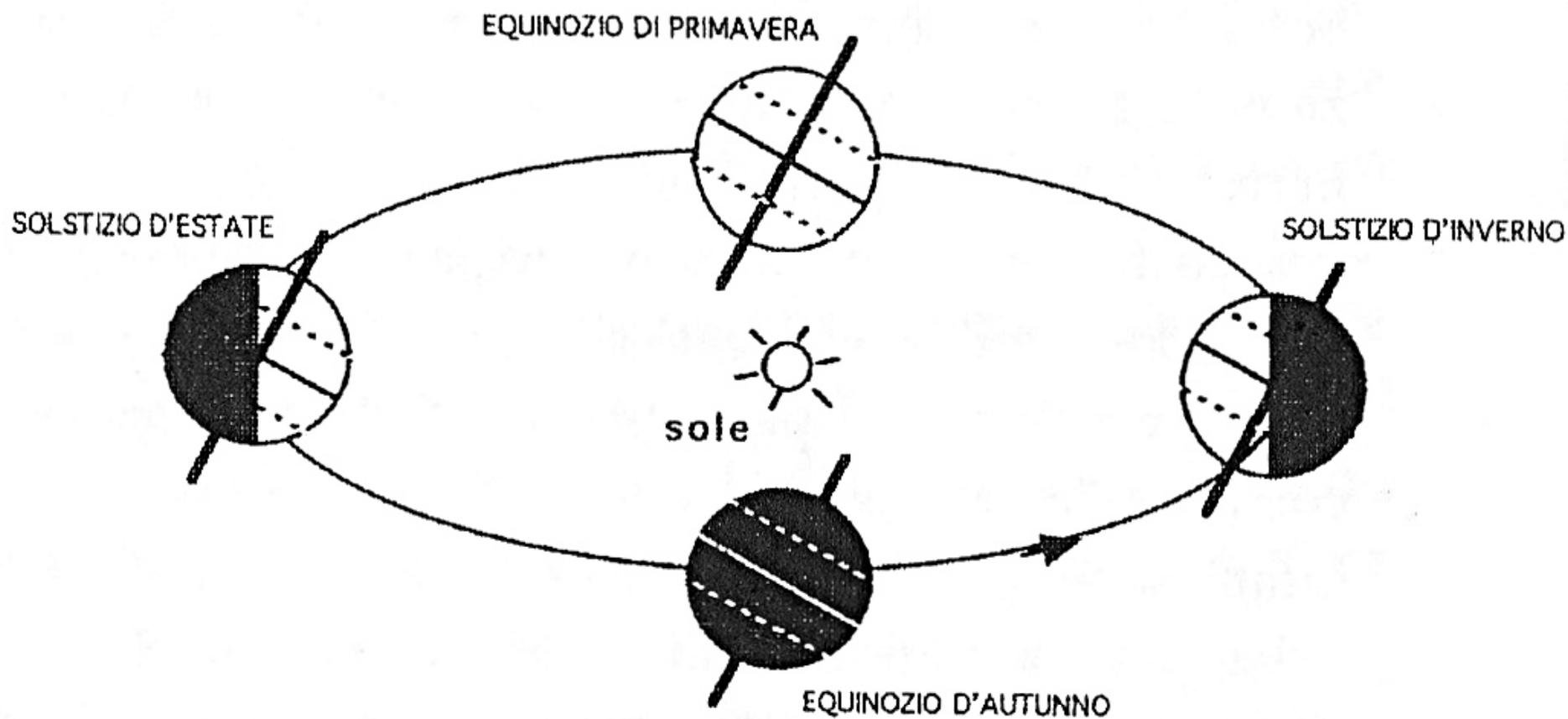
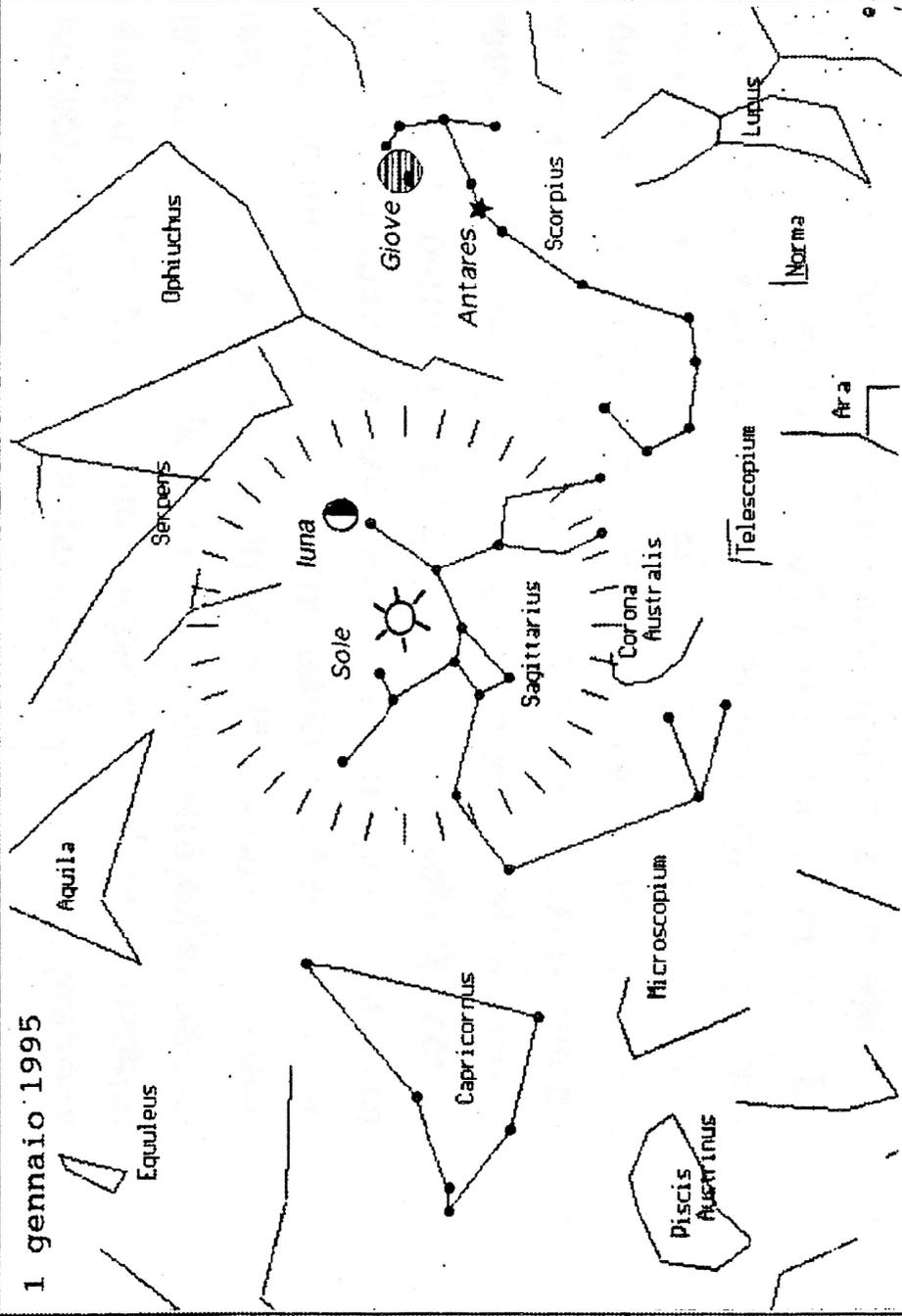


Figura 23. L'alternarsi delle stagioni è una diretta conseguenza dell'obliquità della Terra. La differenza di insolazione nelle diverse regioni dell'orbita provoca grandi variazioni climatiche.

Figura 24. Queste due mappe celesti si riferiscono allo stesso giorno (1 gennaio) di due anni molto lontani: il 1995 d.C. (sopra) e il 200 a.C. (sotto). Negli oltre 2000 anni trascorsi dall'epoca in cui visse Ipparco di Nicea, la precessione degli equinozi ha avuto l'effetto di spostare la posizione del Sole indietro di una costellazione. Quindi, contrariamente a quanto riportato su qualunque oroscopo, nel periodo che va dal 22 dicembre al 20 gennaio, il Sole non attraversa la costellazione del Capricorno, bensì quella del Sagittario. Considerazioni analoghe valgono per i pianeti. Per esempio, la posizione di Giove, riportata nella mappa del 1995 poco sopra la stella Antares, è nella costellazione dello Scorpione mentre, secondo i calcoli astrologici, dovrebbe trovarsi nel Sagittario.

1 gennaio 1995



1 gennaio -200

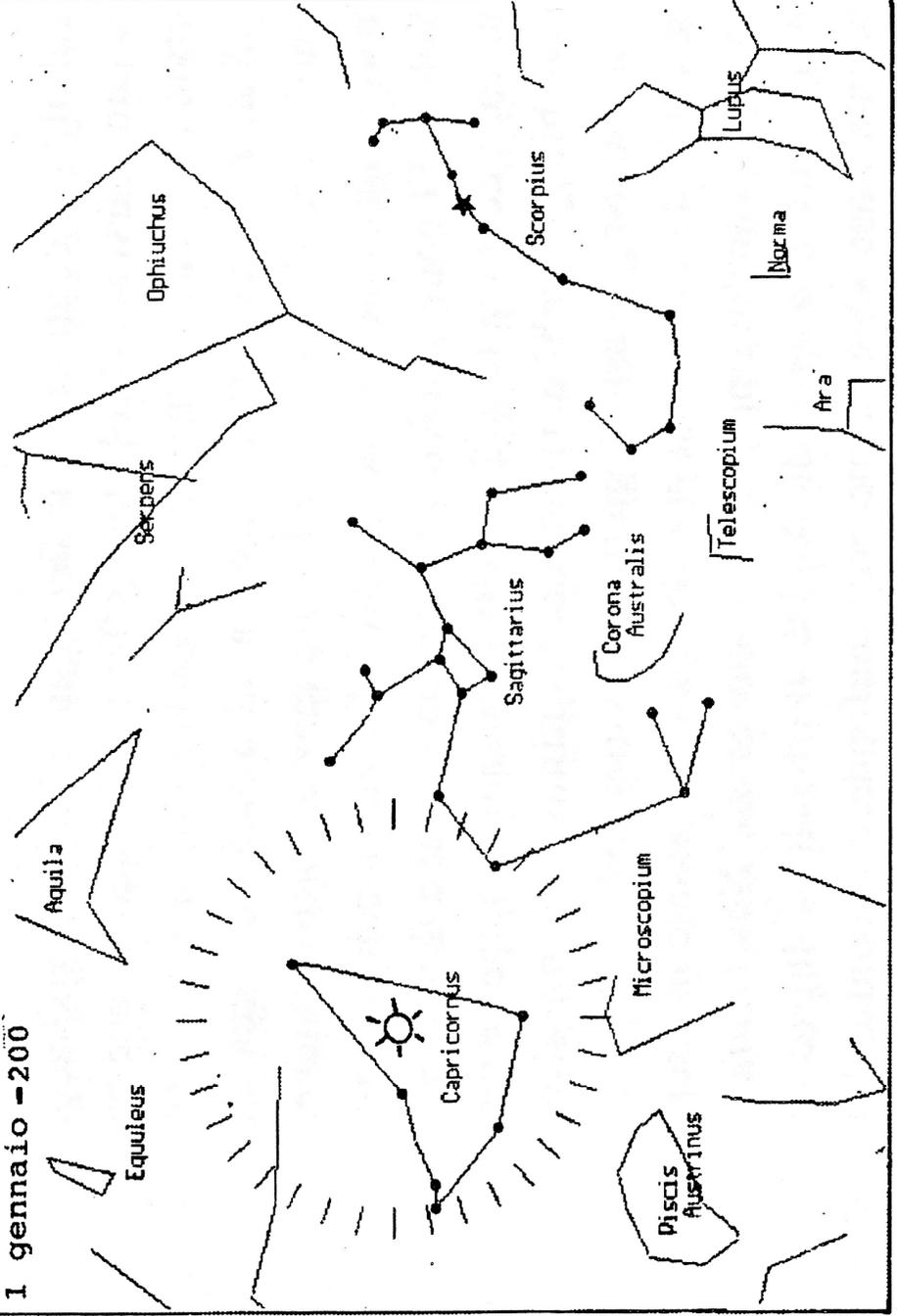


TABELLA. Le distanze dei pianeti.

pianeta	distanza dal Sole	
	calcolata in base alla relazione di Titius	misurata
MERCURIO	0,4	0,39
VENERE	$0,4+0,3\times 2^0 = 0,7$	0,72
TERRA	$0,4+0,3\times 2^1 = 1,0$	1,00
MARTE	$0,4+0,3\times 2^2 = 1,6$	1,52
ASTEROIDI (Cerere)	$0,4+0,3\times 2^3 = 2,8$	2,77
GIOVE	$0,4+0,3\times 2^4 = 5,2$	5,20
SATURNO	$0,4+0,3\times 2^5 = 10,0$	9,54
URANO	$0,4+0,3\times 2^6 = 19,6$	19,18
NETTUNO	$0,4+0,3\times 2^7 = 38,8$	30,06
PLUTONE	$0,4+0,3\times 2^8 = 77,2$	39,44

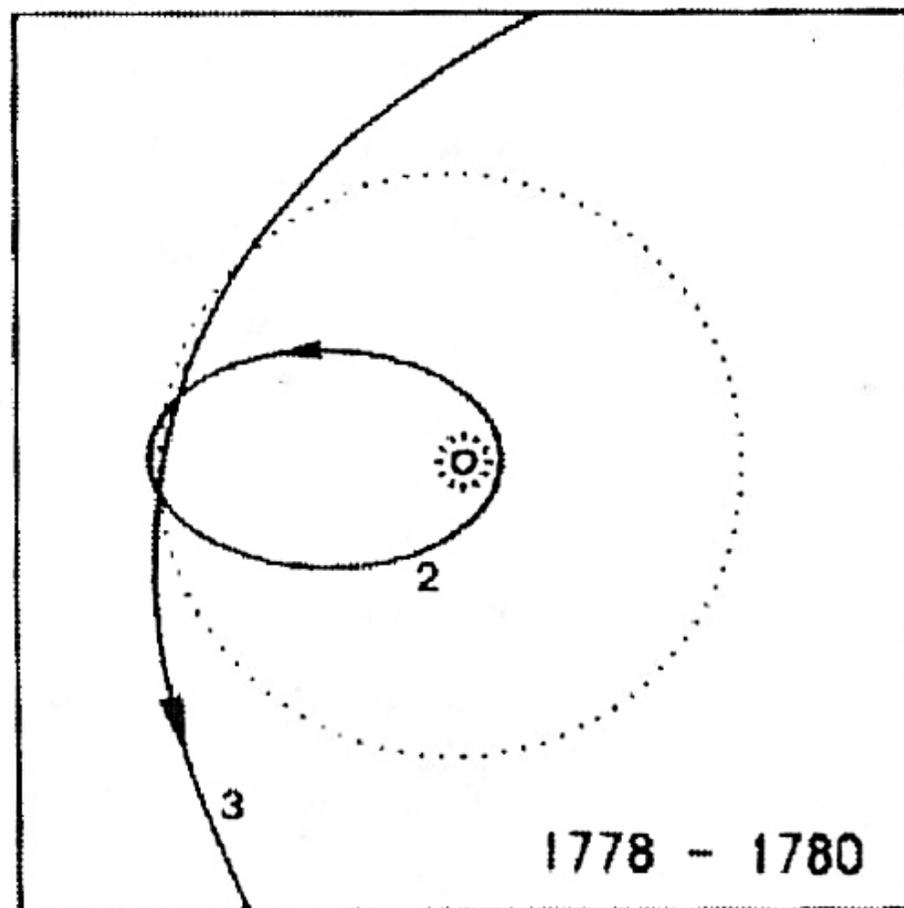
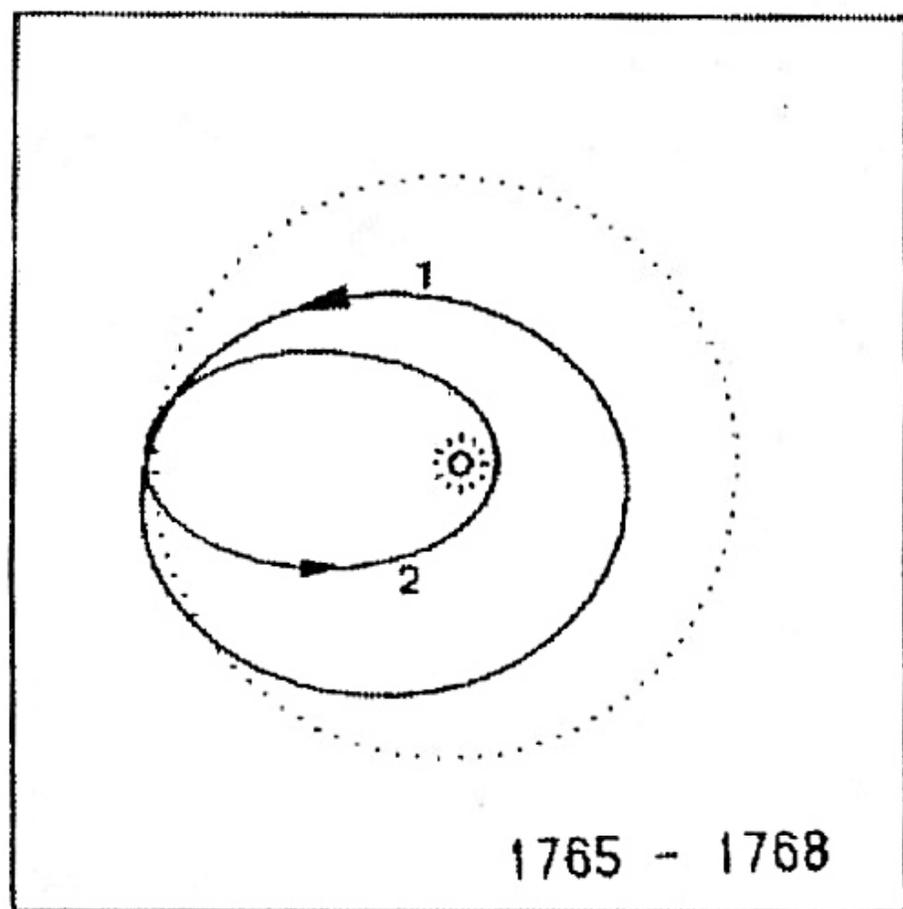


Figura 26. Le conseguenze degli incontri ravvicinati della cometa Lexell con Giove (la cui orbita è rappresentata dal cerchio punteggiato). A sinistra è mostrata la consistente riduzione delle dimensioni dell'orbita della cometa (da 1 a 2), a destra la sua successiva espulsione dal sistema solare interno (da 2 a 3).

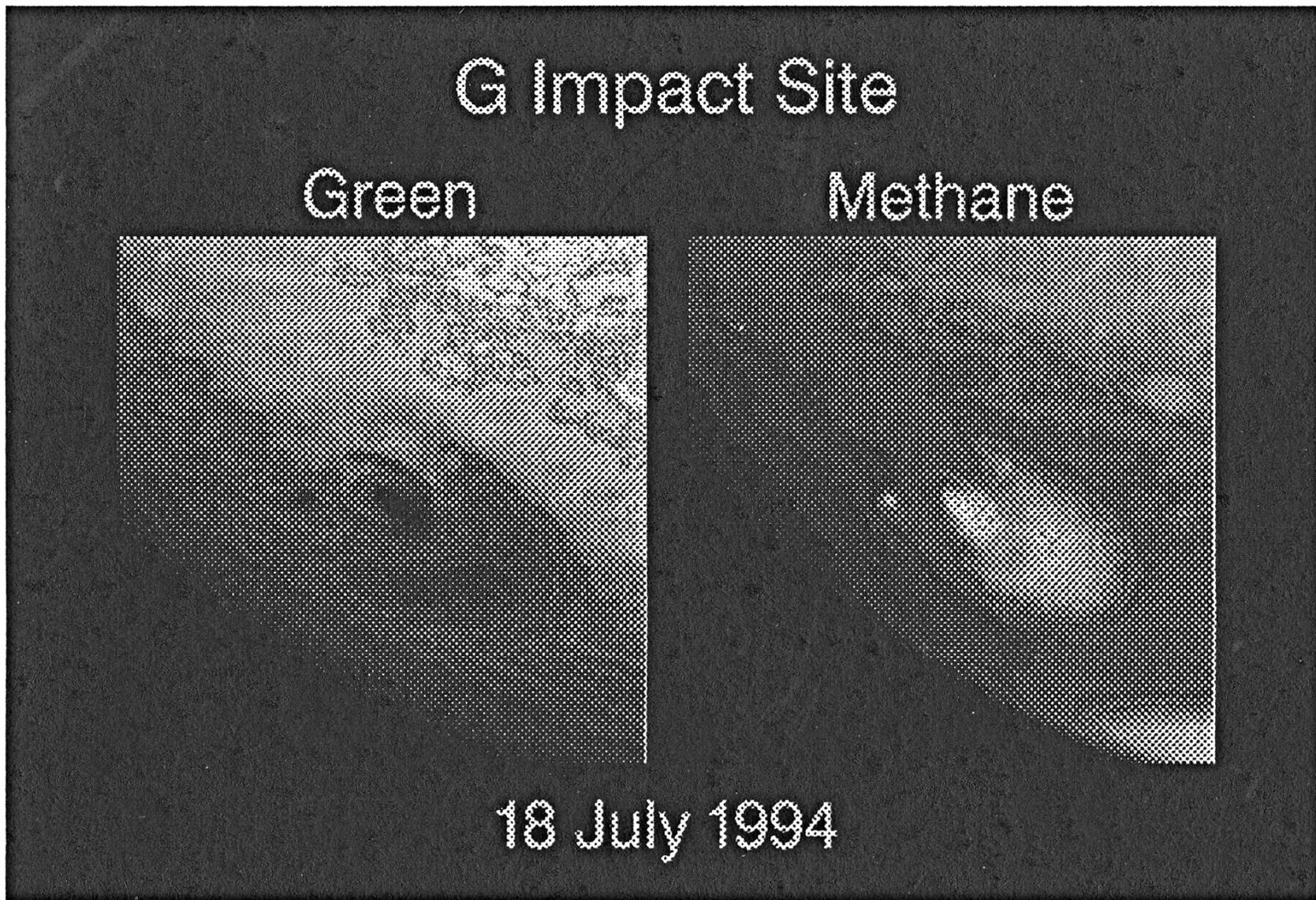


Figura 27. La cometa Shoemaker-Levy 9 si è prima frammentata in parecchie componenti a causa delle forze mareali indotte da Giove e poi, nel luglio 1994, è precipitata nell'atmosfera del pianeta, lasciando segni ben visibili.

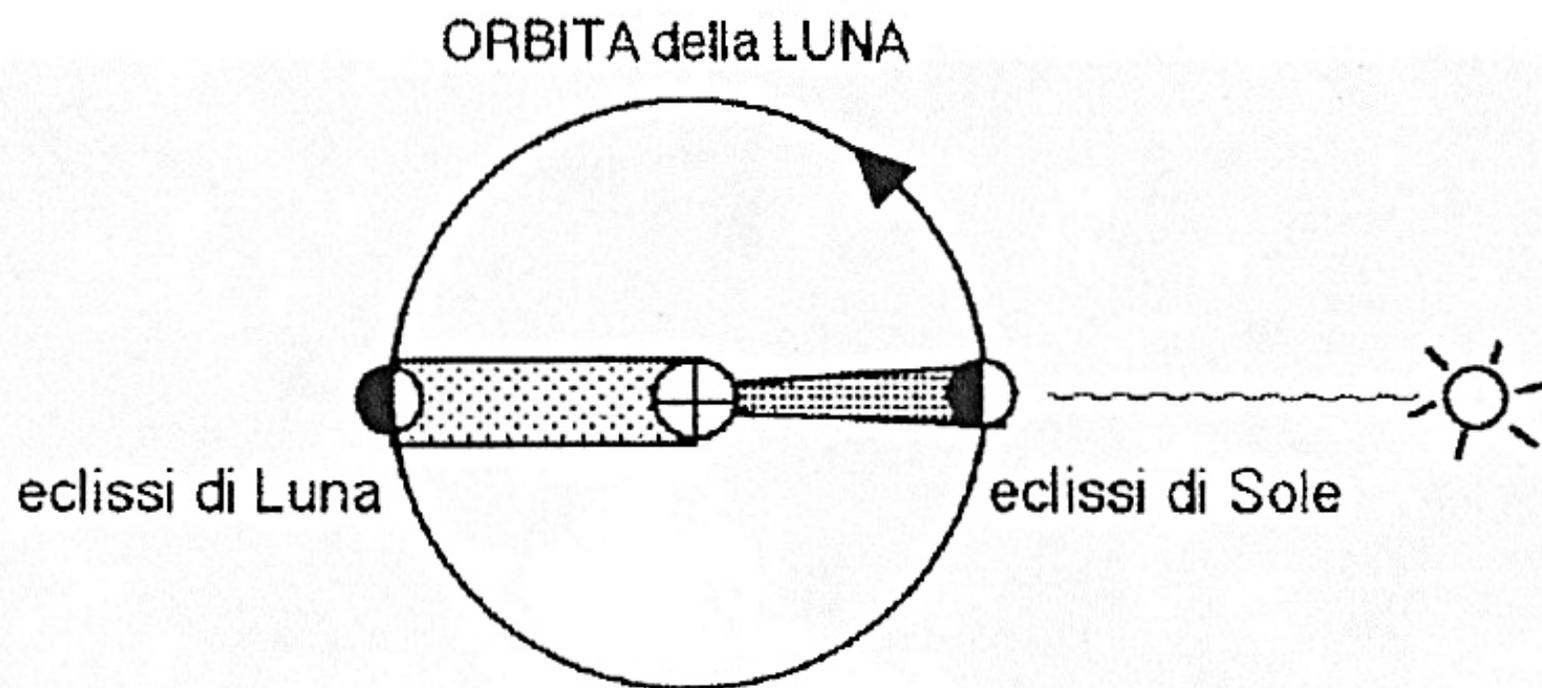
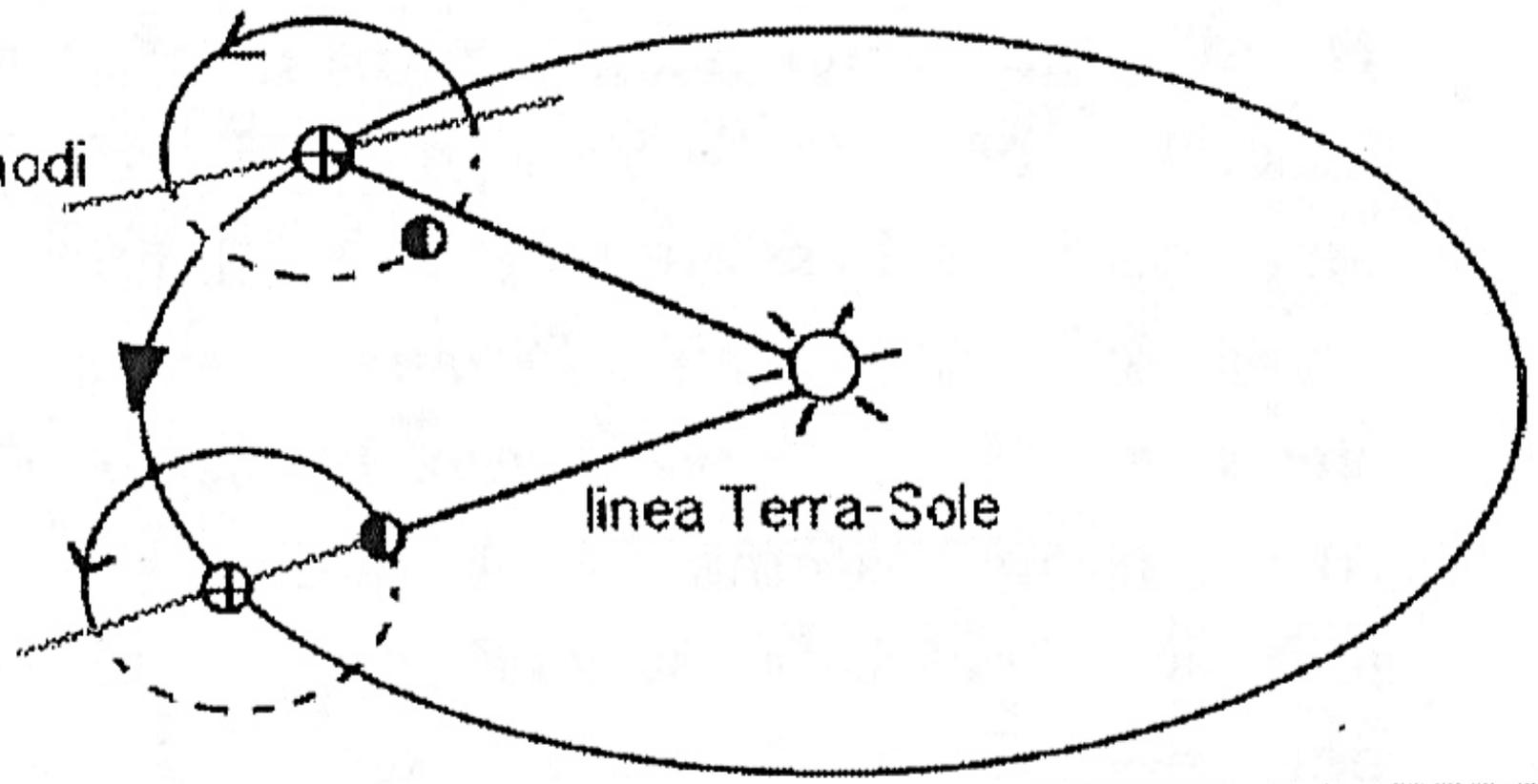


Figura 29. Quando la Luna si interpone tra la Terra e il Sole, e getta la sua ombra sul nostro pianeta, si hanno le eclissi di Sole. Le eclissi di Luna avvengono invece quando il nostro satellite passa nell'ombra della Terra.

ORBITA della LUNA

linea dei nodi



linea Terra-Sole

ORBITA della TERRA

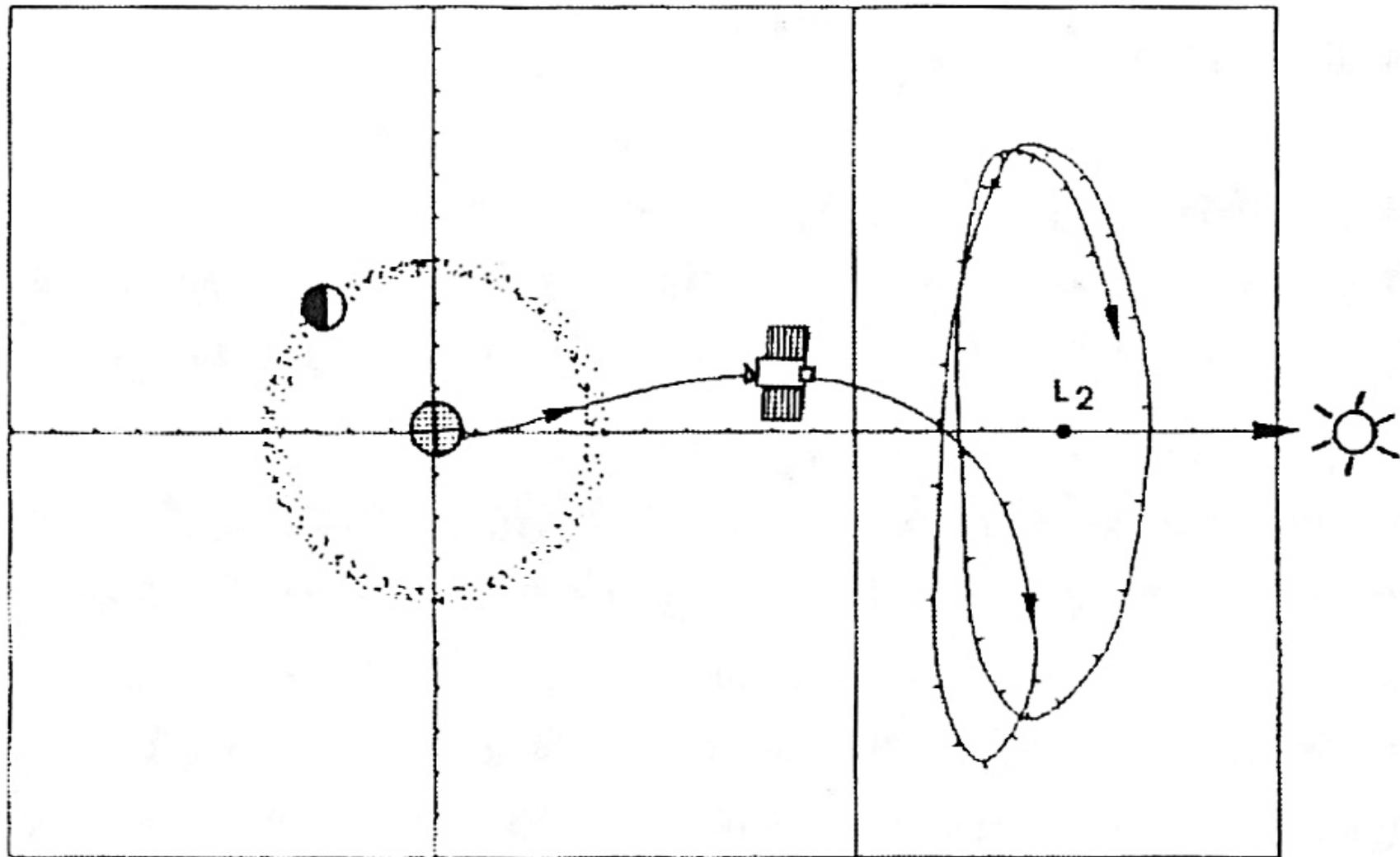


Figura 31. La missione Soho dell'Agenzia Spaziale Europea sfrutta l'esistenza di orbite ad alone attorno al punto lagrangiano tra la Terra e il Sole. In figura è mostrata la traiettoria della sonda dal momento della sua partenza dalla Terra. La traccia punteggiata rappresenta l'orbita della Luna.

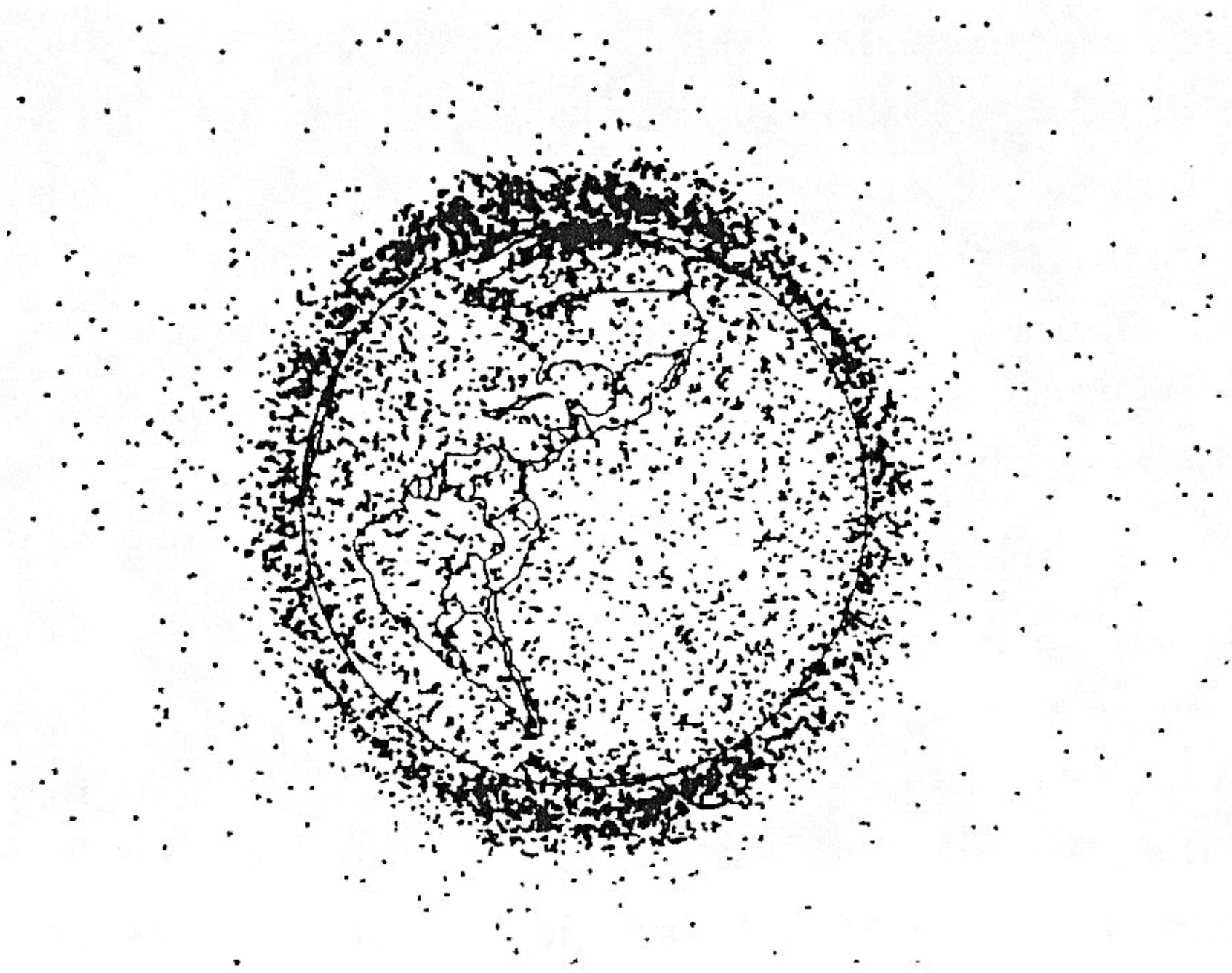


Figura 32. La nube di detriti spaziali che circonda il nostro pianeta.

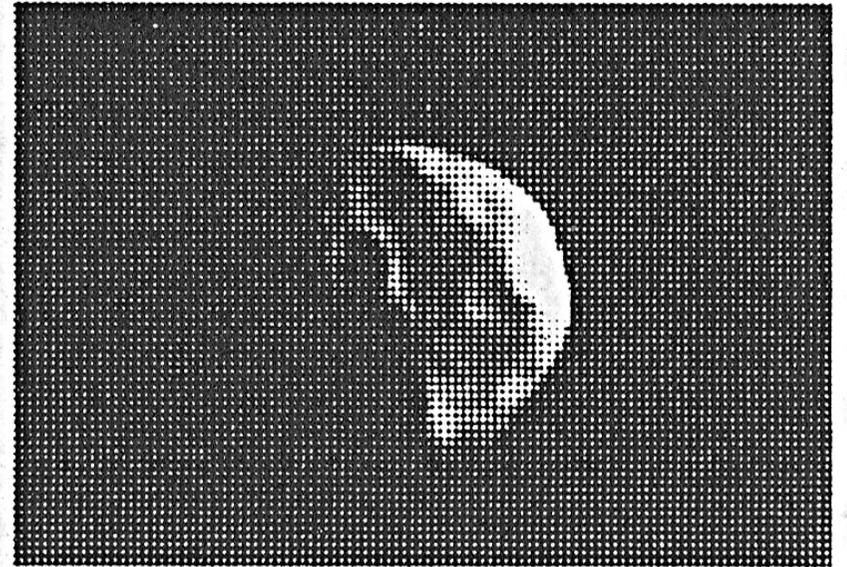
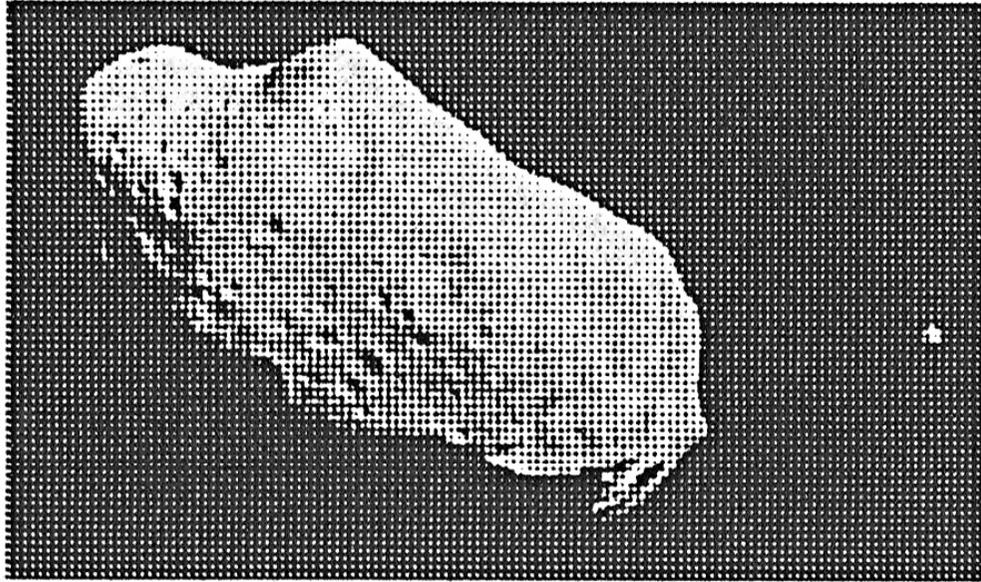


Figura 35. L'asteroide Ida ha riservato agli astronomi una grande sorpresa: ha infatti un satellite (ingrandito a destra) del diametro di appena 1,5 km che gli ruota attorno.

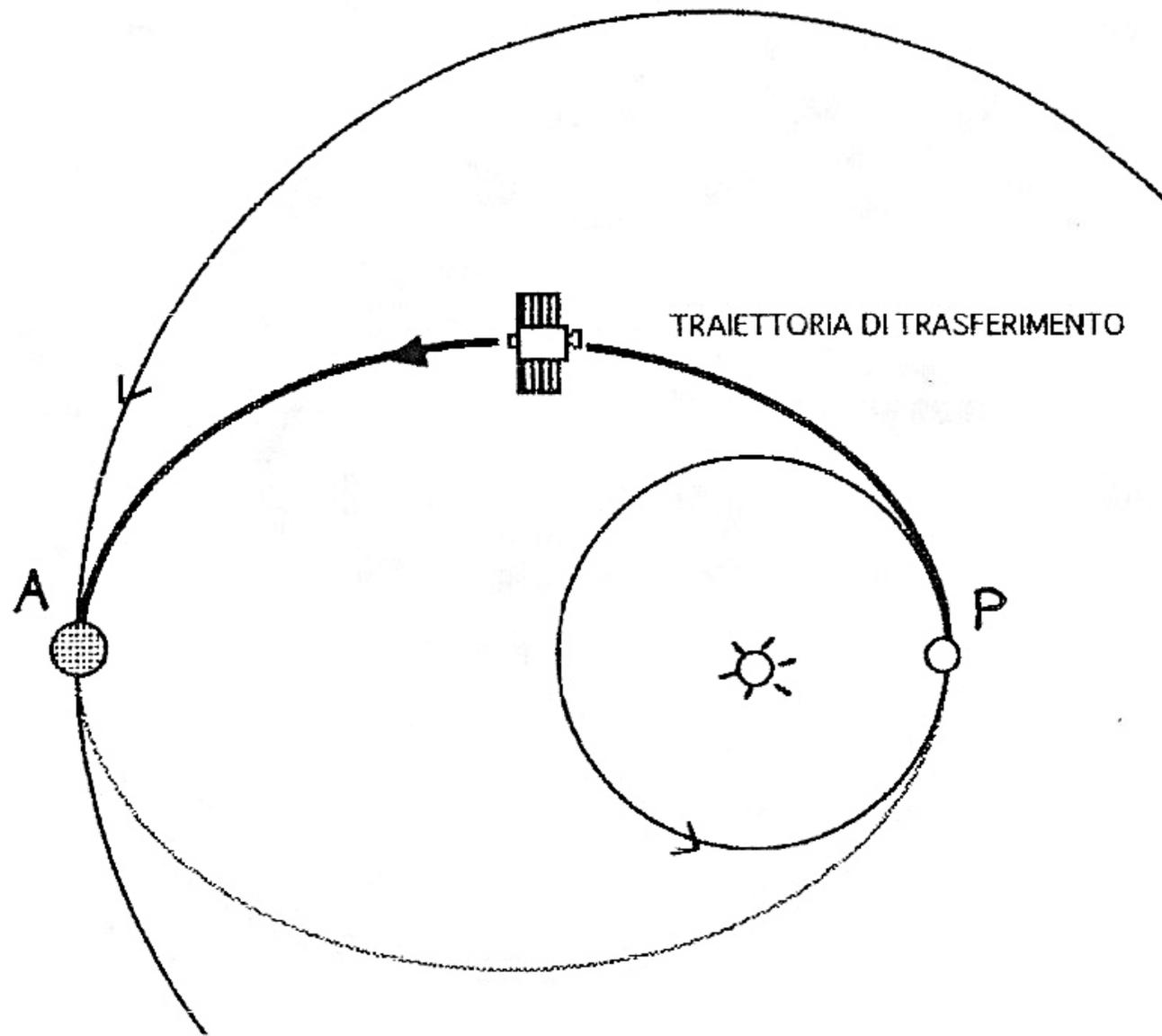


Figura 36. Le traiettorie di trasferimento di Hohman congiungono due orbite planetarie con un arco di ellisse. L'accensione dei motori viene effettuata in corrispondenza del pianeta di partenza (P) e di quello di arrivo (A).

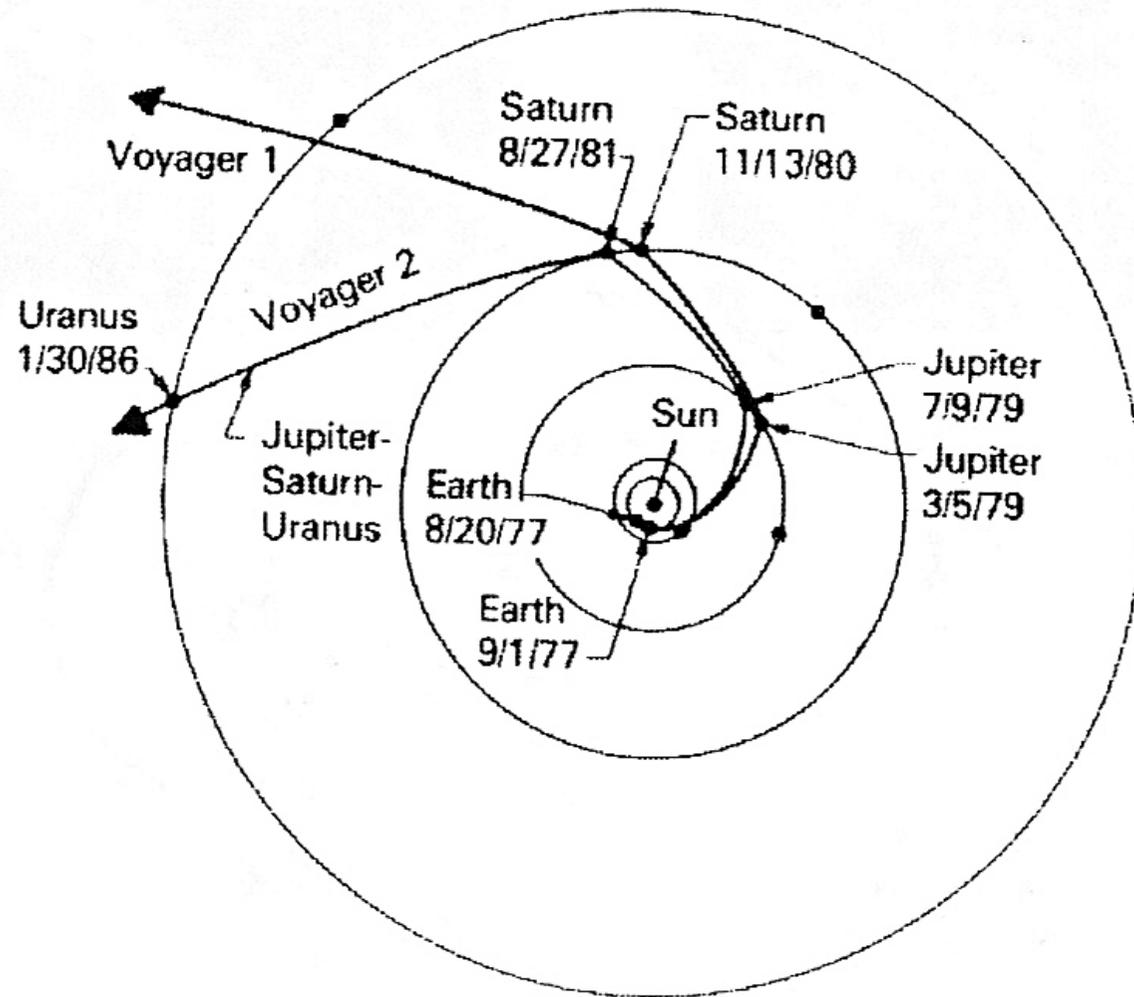


Figura 37. Le traiettorie delle sonde Voyager hanno sfruttato ampiamente la tecnica dell'effetto fionda. Il diagramma illustra la sequenza degli incontri ravvicinati e la conseguente deflessione della traiettoria, opportunamente sfruttata per passare da un pianeta all'altro.