

Claudio Maccone e Paolo Sirtoli

# Voli low cost interplanetari

Sfruttando i punti lagrangiani di ciascun pianeta, con manovre che richiedono poca energia, una navicella potrebbe navigare per l'intero Sistema Solare. Tempi lunghi, ma poca spesa.

Il giorno di Natale del 1968 la capsula dell'Apollo 8, con a bordo tre astronauti, orbitava placidamente attorno alla Luna. Da soli 110 km di altezza i tre potevano ammirare la splendida desolazione di quel mondo, sul quale pochi mesi dopo due uomini avrebbero mosso i primi passi, in nome dell'intera umanità. Dopo alcune orbite, il comandante diede l'ordine di accendere il razzo principale. La navicella ora stava percorrendo una traiettoria di ritorno libero che, senza ulteriori manovre, l'avrebbe riportata a casa. L'equipaggio, rilassato e felice, si concesse volentieri alle interviste da Terra. Durante una di queste, il figlio di un tecnico del controllo chiese agli astronauti chi stava guidando la navicella. Veloce e brillante, il comandante Bill Anders rispose "credo che il grosso del lavoro lo stia facendo Newton".

Proprio così. L'Apollo 8 era infatti sotto il totale dominio della forza di gravità, quella forza che tiene legata la Luna alla Terra, fa cadere le mele al suolo e riporta a casa gli astronauti. I predecessori di Newton, soprattutto Keplero, erano rimasti, per così dire, alla forma che la gravità imprime al moto

dei corpi. Non erano riusciti a penetrarne la sostanza. Le tre leggi di Keplero avevano svelato che i pianeti orbitano attorno al Sole su traiettorie ellittiche, con il cerchio come caso particolare. L'analisi di Newton aveva chiarito che erano possibili altre forme: la parabola e l'iperbole, anch'esse appartenenti alla famiglia delle *coniche*, le figure geometriche che si possono ottenere sezionando una superficie conica con un piano.

Fin dalle prime avventure nello spazio, l'uomo ha sfruttato le coniche quali traiettorie per spostarsi nel Sistema Solare. Ad esempio, per spedire una sonda su Marte la si lancia in modo da farle percorrere un'ellisse, che va a toccare l'orbita di Marte proprio quando il pianeta rosso si trova a passare di là. In realtà, si tratta di un'ellisse fintantoché la sonda è lontana dal pianeta ed è il Sole a dominare la scena gravitazionale. A mano a mano che la sonda si avvicina a Marte, la gravità del pianeta rosso si fa sentire, fino a quando si bilancia esattamente con quella del Sole. A questo punto si dice che la sonda entra nella sfera di influenza di Marte. Nel sistema di riferimento di Marte la sonda percorre non un'ellisse, bensì un'iperbole. Quest'ultima forma, infatti, è la traiettoria degli oggetti che non sono legati gravitazionalmente al corpo centrale: arrivano da molto lontano, vengono deviati di un certo angolo e ripartono verso l'infinito. Se a bordo non ci fosse un potente razzo, le navicelle non potrebbero "chiudere" la traiettoria ed entrare in orbita attorno al pianeta.

Probabilmente il culmine di questa "scuola delle coniche" lo si è raggiunto con la missione Voyager 2 (1972-1989), nella quale la sonda ha raggiunto d'infila tutti i pianeti del Sistema Solare esterno - tranne Plutone - con un percorso che alternava tratti di navigazione in orbita ellittica attorno al Sole con passaggi iperbolici attorno ai pianeti. Tale missione fu resa possibile solo da un allineamento favorevole dei pianeti esterni, che si verificava in quel periodo (e che si ripete approssimativamente ogni due secoli). Oggi non sarebbe possibile una missione con la

stessa rotta, perlomeno non con la stessa efficienza. Con questo metodo, chiamato delle *coniche raccordate*, sono state pianificate tutte le missioni spaziali fino ai Voyager; anzi, questo sistema è ancora utilizzato presso tutte le agenzie spaziali come prima approssimazione alla traiettoria finale. Se però diamo un'occhiata all'orbita seguita da alcune recenti missioni spaziali, come quella della Genesis, rimangono sgomenti. Dove sono le familiari ellissi e le iperboli?

L'origine di questa nuovissima classe di traiettorie spaziali risale a più di due secoli fa. Esse sfruttano i *punti lagrangiani* (dal nome del matematico torinese Giuseppe Lagrangia, francesizzato in Joseph Lagrange, 1736-1816, che per primo li ipotizzò), quelle aree in cui le forze gravitazionali tra il Sole e un pianeta o tra un pianeta e i suoi satelliti si bilanciano. Alcune di queste aree sono instabili: piccoli spostamenti vengono amplificati a valanga, portando le sonde ad allontanarsi in modo imprevedibile a priori (caotico).

Questa potenziale difficoltà, tuttavia, risulta molto utile: piccoli spostamenti attuati al momento giusto conducono infatti la sonda fuori dal punto lagrangiano seguendo il percorso desiderato con un minimo consumo di propellente. Esattamente come una palla posta in cima a una collinetta può scendere nella direzione desiderata se si dà una spintarella ben assestata. Si tratta, insomma, dell'applicazione della teoria del caos ai voli spaziali.

## I PUNTI LAGRANGIANI

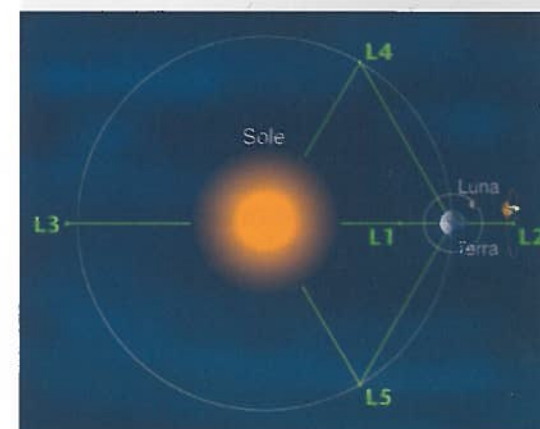
Quando si studia il moto di due corpi di massa arbitraria, trascurando tutto il resto dell'Universo, si ottengono equazioni che non pongono problemi ai matematici, perché sono facilmente risolvibili. Esse vengono usate per trovare la posizione e la velocità dei due corpi con una precisione dipendente solo da quella dei dati iniziali. Se posizione e velocità iniziali fossero note con precisione infinita, si potrebbe predire lo stato del sistema per un periodo arbitrariamente lungo.

Se però i corpi diventano tre, il problema non è più risolvibile, a meno di non fare alcune semplificazioni. Ad esempio, si può pensare a due corpi massicci e a un terzo di massa trascurabile. Nasce così il "problema ristretto dei tre corpi", ad esempio il Sole, la Terra e una sonda spaziale. Il termine *ristretto* significa che il terzo corpo (la sonda, ovviamente) ha una massa insignificante rispetto a quella degli altri due. Di conseguenza, i due corpi maggiori disegnano lo scenario gravitazionale su cui si muoverà il terzo.

Per studiare il problema, mettiamoci in un sistema di riferimento conveniente, centrato sul Sole e che ruoti con la stessa velocità angolare della Terra. Col

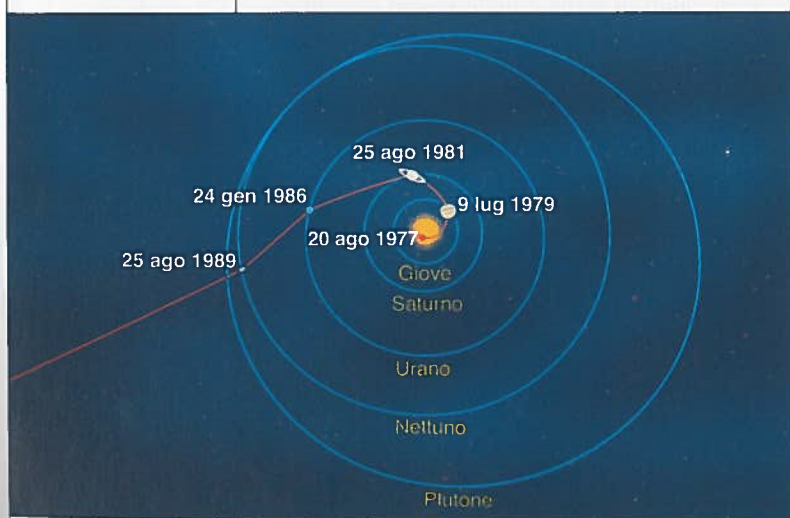
che si ha un grosso vantaggio: il Sole è nell'origine, la Terra è un punto fisso T sull'asse x, e quindi l'unico oggetto a muoversi è il terzo corpo, cioè la sonda spaziale.

Per conoscere la forza a cui sarà soggetta la sonda, dovremo considerare non solo la pura attrazione gravitazionale esercitata dalla Terra e dal Sole, ma anche le forze fittizie che si sprigionano in un sistema di riferimento in rotazione. Senza entrare in dettagli, questa analisi, condotta per primo da Lagrange, individua cinque punti interessanti, chiamati in suo onore *punti lagrangiani*. Due, L4 e L5, sono stabili. Ciò significa che un corpo che si trovi nelle loro vicinanze sarà sospinto verso il punto lagrangiano (L4 o L5), e che, se anche si manifestassero piccole perturbazioni, la forza risultante lo riporterebbe verso il punto di partenza. L1, L2 e L3 invece sono instabili lungo l'asse x (nella direzione Sole-Terra) e stabili lungo l'asse y. Nel caso del sistema Terra-Sole, L1 e L2 sono alla distanza di 1,5 milioni di km dal nostro pianeta, da parti opposte rispetto ad esso sulla congiungente Terra-Sole; L4 e L5 formano col Sole e con la Terra due triangoli equilateri, quindi sono alla stessa distanza dal Sole e dalla Terra. L3 si trova invece al di là del Sole, a una distanza da esso leggermente maggiore dell'orbita terrestre.



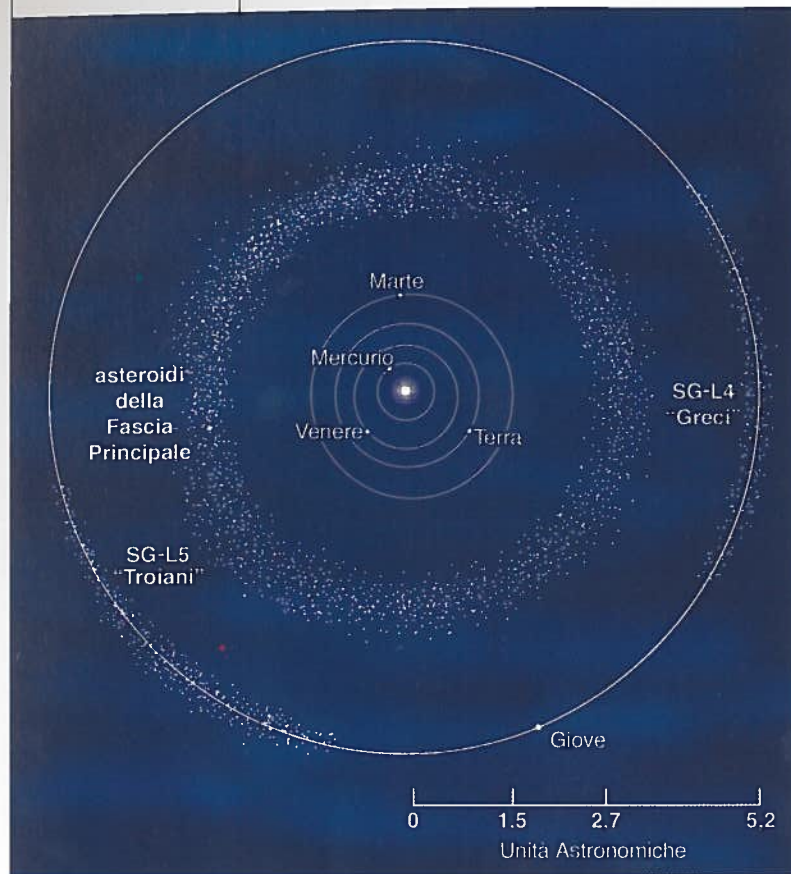
I punti lagrangiani d'equilibrio del sistema Sole-Terra (disegno non in scala).

Nel suo Grand Tour, il Voyager 2 ha percorso archi di ellisse, tra un pianeta e l'altro, e archi di iperboli quando sfrecciava accanto ai pianeti. Naturalmente la transizione è sfumata: i calcoli della traiettoria vicino ai punti di stacco sono particolarmente complessi, e richiedono l'uso di potenti calcolatori.



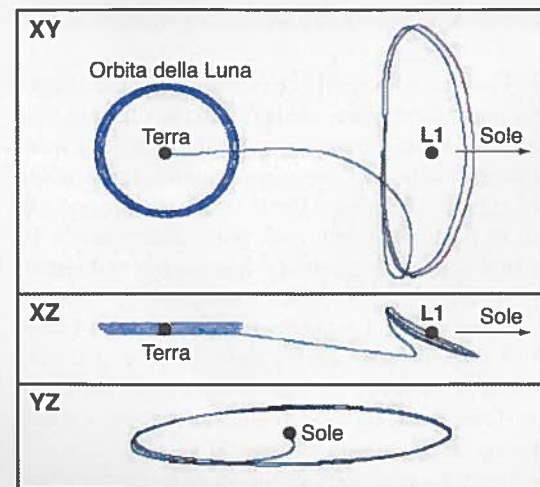
Fino ad ora, come corpi celesti per i quali analizzare i punti lagrangiani abbiamo assunto il Sole e la Terra. In realtà, possiamo applicare l'analisi a qualunque terna in cui i due corpi maggiori siano molto più massicci del terzo. Per non fare confusione, da qui in poi indicheremo tali punti anteposando le iniziali dei corpi celesti che li generano. Ad esempio ST-L1 è il primo punto lagrangiano del sistema Sole-Terra, TL-L1 è quello del sistema Terra-Luna, SG-L1 quello del sistema Sole-Giove e così via. Vale la pena notare che i punti lagrangiani del sistema Terra-Luna ruotano seguendo il moto lunare. Questo fatto ci servirà più avanti.

Se i punti L4 e L5 sono stabili, viene spontaneo chie-



Sono almeno 2000 gli asteroidi appartenenti alla famiglia dei Troiani che precedono e seguono Giove di 60° lungo l'orbita, raggruppati in due nubi attorno ai punti lagrangiani SG-L4 (i "Greci") e SG-L5 (i "Troiani" propriamente detti).

dersi se esistono davvero corpi celesti catturati in queste "trappole" gravitazionali. Nel febbraio 1906 l'astronomo tedesco Max Wolf scoprì un asteroide nel punto L4 del sistema Sole-Giove, e lo battezzò Achille, l'eroe dell'*Iliade* di Omero. Negli anni successivi se ne scoprirono molti altri, sia in L4 che in L5. Per seguire lo stile inaugurato da Wolf, essi vennero battezzati con i nomi di personaggi dell'*Iliade*, naturalmente separando i Greci dai Troiani. I primi furono messi in L4, i secondi in L5. Ad oggi si cono-



Diverse proiezioni dell'orbita ad alone attorno al punto lagrangiano TL-L1. Il piano XY è ciò che si vede "da sopra" il Sistema Solare. Il piano XZ è la vista "di lato" (l'orbita terrestre è perpendicolare al foglio). Il piano YZ mostra come l'orbita viene vista dalla Terra.

scono circa 2000 asteroidi di queste famiglie, che formano quindi due nubi che precedono e seguono Giove di 60° nel suo cammino attorno al Sole. Sono noti complessivamente col nome di *Troiani*, dato che parteciparono tutti alla guerra di Troia. Esistono Troiani per i sistemi Sole-Marte e Sole-Nettuno, e persino per Saturno e i suoi satelliti maggiori. Per quanto riguarda il sistema Terra-Sole, non esistono asteroidi in L4 e L5, ma forse potrebbero esistere due nubi estremamente deboli, chiamate nubi di Kordylewski dal nome dell'astronomo polacco che sostenne di averle osservate nel 1956. Esse furono osservate di nuovo da altri astronomi, ma la loro esistenza rimane ancora controversa.

**QUALI VANTAGGI?**

Se poniamo una sonda spaziale nei pressi di ST-L1 oppure di ST-L2 non dobbiamo aspettarci che rimanga immobile. Se lo osserviamo dalla Terra, il puntolino, che si trova inizialmente allineato col Sole, per effetto delle inevitabili perturbazioni inizierà a oscillare a destra e sinistra. Le perturbazioni agiscono anche in senso perpendicolare al piano Terra-Sole, e così la sonda oscilla anche in direzione verticale. Le frequenze delle oscillazioni in orizzontale e in verticale sono in generale diverse. Le figure che risultano componendo oscillazioni fra loro perpendicolari con frequenze diverse sono note col nome di *figure di Lissajous*. Anche le traiettorie di questo tipo si chiamano *orbite di Lissajous*. Ovviamente, non hanno



La navicella SOHO, qui nei laboratori dell'ESA poco prima del lancio, è posteggiata al punto lagrangiano ST-L1 ormai da dieci anni: da quella posizione osserva stabilmente il Sole risentendo solo di piccole perturbazioni che vengono agevolmente corrette.

una grande utilità. Se però l'ampiezza dell'oscillazione supera i 32.000 km, è possibile fare in modo che le frequenze in verticale e in orizzontale siano uguali e allora l'intricata figura di Lissajous si risolve in una semplicissima ellisse. L'orbita descritta è un *alone* attorno al punto ST-L1, e quindi anche attorno al Sole (visto da Terra, ST-L1 appare contro il Sole).

Ecco i vantaggi. Innanzitutto, la sonda in ST-L1 è costantemente rivolta verso il Sole, ma quasi ferma rispetto alla Terra, quindi ST-L1 è un punto privilegiato per collocarvi un Osservatorio solare permanentemente in contatto con la Terra. Invece ST-L2 è perfetto per collocarvi sonde che indagano l'Universo profondo: più della metà del loro cielo non vede mai la presenza di Sole, Terra o Luna (ST-L2 è ben oltre l'orbita lunare, ed è poco perturbato dalla Luna stessa).

Non fa meraviglia dunque sapere che attorno a ST-L1 gravitano da anni l'Osservatorio solare SOHO (dal 1996), la sonda WIND (dal 1995) e la ACE (dal 1997). In ST-L2 ha trovato ospitalità la MAP, che ha indagato la radiazione cosmica di fondo, e saranno collocati la Herschel-Planck e l'erede del Telescopio Spaziale "Hubble".

La SOHO compie un'orbita larga 667 mila km, che sale e scende di 60 mila km rispetto all'eclittica. Il fatto di dover continuamente correggerne l'orbita per evitare la deriva non comporta il consumo di grandi quantità di combustibile: non dobbiamo dimenticare che siamo nei pressi del punto di equilibrio tra la forza di gravità della Terra e quella del Sole. Il serbatoio della SOHO contiene appena 235 kg di idrazina, e ogni 3-4 mesi vengono effettuate correzioni dell'orbita che ne consumano da pochi grammi a 1 kg. Ce n'è abbastanza per circa vent'anni, e infatti recentemente l'ESA ha deciso di estendere la missione.

**ALONI E TUBI**

Lasciamo per un momento le sonde e torniamo indietro di più di un secolo.

Lo straordinario matematico francese Henri Poincaré (1854-1912) scoprì nel 1890 che le orbite instabili quasi periodiche attorno ai punti TL1 e TL2, cioè proprio le orbite ad alone simili a quella della SOHO, hanno interessanti proprietà. Per esempio, ci sono infinite traiettorie che conducono a quell'orbita e tutte si avvolgono formando una superficie a forma di tubo che porta - senza alcun dispendio di energia - verso l'alone. Ma l'alone non è stabile: ci saranno allora anche infinite traiettorie di uscita. Ebbene, Poincaré scoprì che anche queste traiettorie vanno a formare un tubo. In realtà, i tubi sono quattro, due di ingresso e due di uscita, e tutti si intersecano nell'orbita ad alone, che rappresenta una specie di stazione di attesa. È relativamente stabile, almeno per brevi periodi di tempo, e mantenibile con un minimo dispendio di energia.

Una sonda viene sospinta "gratis" lungo il tubo di

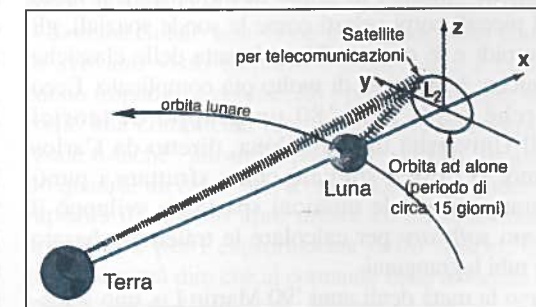
arrivo, si avvicina sempre più alla traiettoria ad alone, vi rimane per qualche tempo, poi riparte lungo uno dei due tubi di uscita. Normalmente è il caos a guidare la sonda, cioè le imprevedibili perturbazioni di tipo gravitazionale, oppure dovute al rinculo per l'irraggiamento della luce, alla pressione del vento solare ecc., e probabilmente è per questo motivo che le missioni che sfruttano i punti lagrangiani non hanno avuto un immediato successo. Agli albori della corsa allo spazio era senz'altro preferibile la sicurezza delle coniche raccordate, facili da rappresentare e da gestire. Ma, con un saggio uso di piccole spinte dei motori al momento giusto, giocando con i tubi si possono fare manovre incredibili. Vediamone alcune.

**COME SFRUTTARLI**

Nel 1961 il grande meccanico celeste italiano Giuseppe Colombo (1920-1984), docente a Padova di meccanica razionale e noto per avere suggerito alla NASA una strabiliante miglioria alla traiettoria del Mariner X attorno a Mercurio (che permise tre *flyby* invece di uno, senza alcuna spesa aggiuntiva), fu il primo a studiare la stabilizzazione di un satellite presso il punto lagrangiano TL-L1. Secondo i calcoli di Colombo, la cosa era fattibile e comportava il dispendio di una minima quantità di energia; addirittura, era possibile usare una semplice vela solare per stabilizzare posizione e assetto del satellite!

Il vero pioniere, però, fu Robert Farquhar, uno dei più geniali tra i meccanici celesti, che nel 1984 ha ricevuto il premio Dirk Brouwer per i suoi contributi all'astrodinamica. Egli, nel 1966, propose alla NASA di immettere un satellite per telecomunicazioni in orbita attorno al punto lagrangiano TL-L2, cioè il punto lagrangiano del sistema Terra-Luna di fronte alla faccia nascosta del nostro satellite. L'idea era di dare copertura radio alle missioni Apollo anche quando gli astronauti transitavano dietro la Luna. Il satellite avrebbe percorso una grande orbita ad alone, in modo da essere sempre visibile contemporaneamente dalla Terra e dalle navicelle Apollo. Il progetto fu approvato per la missione Apollo 17, ma quando i fondi vennero tagliati e fu chiaro che quella sarebbe stata l'ultima missione lunare, venne abbandonato.

Per molti anni Farquhar cercò di convincere i vertici



**GLI AUTORI**

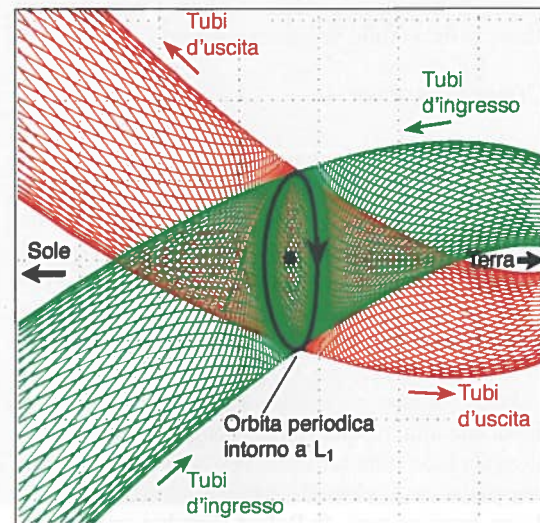
**Claudio Maccone**, nato a Torino nel 1948, laureato in Matematica e Fisica, ha svolto l'attività di ricercatore presso Alenia Spazio. Dal 2001 è membro dell'Accademia Internazionale di Astronautica. Ultimamente si occupa di ricerche SETI. L'IAU gli ha dedicato l'asteroide (11264) Claudiomaccone.

**Paolo Sirtoli**, nato a Bergamo nel 1975, è laureato in ingegneria e lavora nel campo aerospaziale. Fondatore e coordinatore del sito di divulgazione scientifica <http://www.vialattea.net>, è membro della Società Italiana di Meccanica Celeste, della Società Astronomica Orobica e del CICAP.

Robert Farquhar, meccanico celeste della NASA, fu il primo a proporre di sfruttare i punti lagrangiani per immettere un satellite per telecomunicazioni in orbita attorno a TL-L2. Era il 1966: l'idea piacque, ma poi non se ne fece nulla.

della NASA a sfruttare i punti lagrangiani, ma senza successo. Finalmente, nel 1971 un illuminato fisico spaziale, N.F. Ness, gli diede ascolto e nacque così la missione International Sun Earth Explorer 3, la prima missione ad orbitare ad alone attorno al punto ST-L1, nel 1978. Formalmente il compito della ISEE3 era quello di studiare il vento solare. In realtà, essa si rivelò il "gioco preferito" dei meccanici celesti del JPL, che la usarono per testare orbite di nuova concezione. Dopo avere stazionato con successo presso ST-L1 per tre anni, la ISEE3 fu spedita a studiare la magnetosfera della Terra su

In verde, l'insieme di traiettorie che conducono all'orbita periodica attorno al punto lagrangiano L1 del sistema Sole-Terra (tubi di ingresso); in rosso, l'insieme di traiettorie che porta fuori dall'orbita periodica (tubi di uscita). (Martin Lo Caltech)



un'orbita che sfruttava un doppio incontro ravvicinato lunare per mantenere la sonda sempre entro la coda geomagnetica terrestre.

Non era finita: nel 1985, la ISEE3 venne trasformata nella ICE (International Comet Explorer): fu infatti lanciata verso un incontro ravvicinato con la Luna che la rispedì verso la cometa Giacobini-Zinner. La ICE passò a 8000 km dal suo nucleo: purtroppo non aveva telecamere a bordo, e quindi i suoi risultati non sono giunti al grande pubblico, benché abbiano dato parecchio da fare agli scienziati.

Questo episodio rappresentò l'esordio dello sfruttamento dei punti lagrangiani. Si cominciava a capire che lo spazio interplanetario, in senso matematico, contiene strutture in grado di influenzare il moto dei piccoli corpi celesti come le sonde spaziali, gli asteroidi e le comete. Non si tratta delle classiche coniche: è qualcosa di molto più complicato. Ecco perché negli anni '80 un gruppo di teorici dell'Università di Barcellona, diretto da Carlos Simó, si mise a studiare come sfruttare i punti lagrangiani per le missioni spaziali e sviluppò il primo software per calcolare le traiettorie basate sui tubi lagrangiani.

Verso la metà degli anni '90 Martin Lo, uno scien-

ziato del JPL incaricato di pianificare l'orbita della missione Genesis, si chiese dove andassero a finire i tubi di Poincaré: la sua scoperta straordinaria fu che i tubi di pianeti e satelliti si prolungano fino ad intersecarsi!

LE AUTOSTRAD E INTERPLANETARIE

Una sonda spaziale può essere trasportata dal tubo di ingresso fino a un'orbita ad alone attorno a un punto lagrangiano e rimanere lì fino a che non si presenta l'opportunità di uscirne con una traiettoria studiata ad hoc per intercettare il tubo di ingresso che porta al punto lagrangiano di un altro pianeta! E così, di punto lagrangiano in punto lagrangiano, si può giungere in ogni punto del Sistema Solare. Gli scienziati statunitensi hanno chiamato questi tubi "autostrade interplanetarie", e le orbite ad alone sono l'equivalente dei caselli autostradali: ci si ferma un po' prima di ripartire e si "paga" con un po' di combustibile la manovra di orientazione verso il tubo di uscita desiderato.

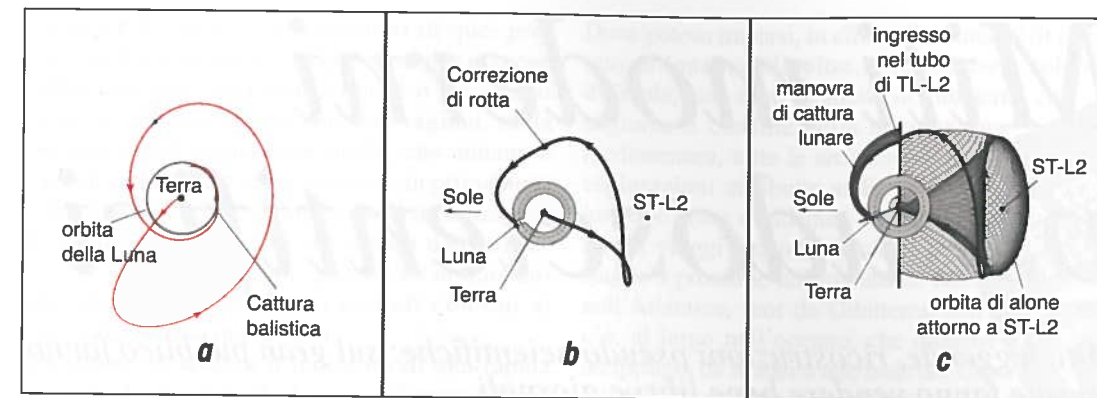
L'inconveniente principale è che occorre molto tempo affinché questi tubi si intersechino: nel caso di un volo dalla Terra alla Luna, utilizzando un'orbita tipo Apollo la durata si misura in 4-5 giorni. Se invece si segue l'approccio nuovo, la missione può durare anni. Queste autostrade sono interessanti per le sonde spaziali, ma non certo per gli equipaggi umani.

Ecco dunque il nuovo paradigma dei viaggi spaziali con sonde automatiche: si deve immaginare lo spazio interplanetario popolato di tubi che si avvolgono a spirale attorno ai pianeti. Questi tubi ruotano accompagnando il pianeta, e ne esiste uno per ogni possibile velocità; dunque, per passare da un tubo all'altro, bisogna raccordare non solo la posizione, ma anche la velocità. Per fortuna ciò può essere fatto con una spesa minima, se non addirittura gratis, se si aspetta abbastanza a lungo.

Ogni punto del Sistema Solare può essere raggiunto sfruttando questi tubi e stazionando presso i punti lagrangiani, "parcheeggiati" lungo orbite ad alone, finché non capita la coincidenza col tubo di uscita desiderato. Una delle conseguenze più dure da accettare è che col nuovo paradigma scompaiono i classici parametri orbitali. Quando il caos domina la scena, solo i calcolatori possono "capire" e soprattutto prevedere le traiettorie.

IL CASO DELLA HITEN

Nel 1990 la sonda giapponese Muses-A fu lanciata verso la Luna, ma la spinta si rivelò insufficiente. Dall'orbita in cui si trovava, non vi era speranza di raggiungere il nostro satellite con le usuali traiettorie. Essa venne recuperata in modo spettacolare



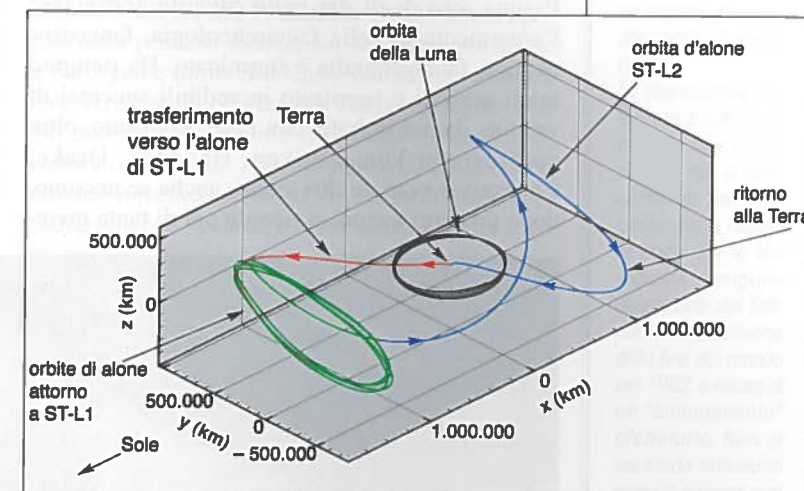
con un'orbita studiata da Belbruno e Miller, due scienziati del JPL e la sua metamorfosi, ribattezzata Hiten, riuscì a portare a termine con successo il piano previsto.

È difficile capire l'idea che sta dietro questa traiettoria. Gli stessi autori la trovarono in modo parzialmente euristico, andando un po' per tentativi, cioè chiedendo al computer di simulare "cosa succede se...". La sonda era nei pressi del punto lagrangiano Terra-Sole, e i due ricercatori sapevano bene che una piccola correzione qui comportava la scelta di una precisa traiettoria di discesa che sarebbe terminata vicino alla Luna dove, con un'altra piccola correzione, si sarebbe completato l'inserimento in orbita (cattura balistica).

Possiamo vedere questa traiettoria in un'altra ottica, alla luce dei concetti che abbiamo esposto in precedenza. La sonda è stata avviata lungo il tubo di ingresso del punto lagrangiano ST-L2 ed è stata subito risucchiata dal tubo di uscita che porta verso la Terra. Poi, con una piccola correzione, di rotta ha imboccato il tubo di ingresso verso il punto lagrangiano TL-L2, lo ha percorso e, con una piccola manovra, è entrata in orbita lunare. Spettacolare, no?

Al giorno d'oggi queste nuove traiettorie sono diventate routine, grazie al software Ltool sviluppato dal gruppo di Martin Lo, del JPL. È stato persino possibile riprogettare in una sola settimana la complicata traiettoria della Genesis, dopo che il suo lancio aveva subito un ritardo. Una cosa del genere era pura fantascienza solo pochi anni prima. Ormai abbiamo l'occhio allenato per leggere anche la complicata traiettoria di questa navicella: la Genesis si è avviata lungo il tubo d'ingresso verso ST-L1. Ha compiuto diverse orbite lungo l'alone, beneficiando della continua esposizione al vento solare, che ha raccolto con cura. Con una piccola manovra, ha abbandonato l'alone, "cadendo" nel tubo di uscita, perfettamente raccordato col tubo di ingresso per l'altro punto lagrangiano ST-L2. Questa "escursione fuori porta" si è resa necessaria per un vincolo della missione: far rientrare la

Genesis sulla Terra nell'emisfero diurno. Attorno a ST-L2 la sonda ha fatto solo un rapido passaggio per entrare subito nel tubo di uscita che l'ha portata sulla Terra l'8 settembre 2004. Il vantaggio di un'orbita simile è un incredibile risparmio di propellente: il combustibile a bordo della Genesis rappresentava infatti solo il 5% della massa dell'intera sonda!



TRAFFICO IN AUTOSTRADA

Le missioni che sfruttano i punti lagrangiani hanno avuto un precursore nel 1978, la sonda ISEE3, e poi il nulla. C'è stata una riscoperta alla metà degli anni '90, con il lancio di ben tre sonde in due anni, e da qui al 2014 si prevede di lanciare ben otto sonde verso il TL-L2!

Il Sistema Solare non viene più immaginato come lo avevano visto Keplero e Copernico, e come hanno imparato a conoscerlo i primi astronauti, ma come una complicata rete di tubi che connettono "zone franche" attorno a pianeti e satelliti. In questo quadro, un caos "ben temperato" dalle moderne capacità di calcolo apre nuove ed entusiasmanti prospettive per l'esplorazione dello spazio. Un giorno si potrà dire che al comando della navicella ci sono due piloti d'eccezione: Newton e Lagrange. ■

a) La traiettoria della Muses-A/Hiten vista in un sistema di riferimento inerziale. La Terra è al centro e il trasferimento fino alla Luna dura circa 6 mesi. b) La stessa traiettoria vista in un sistema di riferimento rotante. Ora compare il punto lagrangiano TL-L2. c) Sovrapposizione della traiettoria e dei tubi lagrangiani, che fanno capire le varie fasi della navigazione.

L'intricata orbita della sonda Genesis ha sfruttato i due punti lagrangiani L1 e L2 del sistema Terra-Luna.