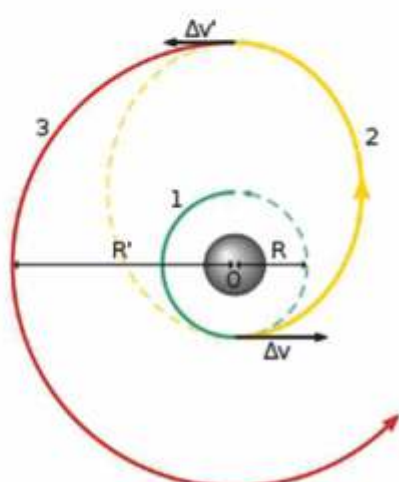


FIONDA GRAVITAZIONALE

a cura di Roberto Perenna

La fionda gravitazionale è una tecnica di volo spaziale che utilizza la gravità di un pianeta per alterare il percorso e la velocità di un veicolo spaziale. È comunemente usata per raggiungere i pianeti esterni del Sistema Solare, il cui raggiungimento diretto sarebbe proibitivo se non addirittura impossibile con le tecnologie attuali. È anche chiamato gravity-assist o swing-by e si utilizza con profitto solo con pianeti dotati di grande massa.



Trasferimento alla Hohmann con $R > R'$

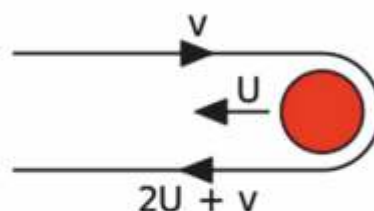
Il modo più semplice per inviare una sonda da un pianeta ad un altro è quello di utilizzare un trasferimento alla Hohmann, ovvero far percorrere alla sonda un'orbita ellittica con la Terra al perielio e l'altro pianeta all'afelio. Utilizzando una corretta **finestra di lancio**, il veicolo spaziale arriverà all'afelio proprio quando il pianeta starà passando lì vicino. Questo tipo di trasferimento è comunemente usato per muoversi attorno alla Terra, dalla Terra alla Luna o dalla Terra a Marte.

Un trasferimento alla Hohmann usato per raggiungere pianeti esterni richiederebbe tempi lunghi e una considerevole quantità di propellente necessaria a eseguire la manovra orbitale (**delta V**). È in questi casi che l'effetto fionda è usato più frequentemente.

Per ottenere l'effetto fionda, il veicolo spaziale deve effettuare un sorvolo ravvicinato (**fly-by**) del pianeta. Ad esempio, per una sonda diretta verso Giove mentre è in avvicinamento, la gravità del pianeta l'attrae aumentando la sua velocità. Dopo aver passato il pianeta, la gravità continua ad attrarre il veicolo, rallentandolo. L'effetto sulla velocità, se il pianeta fosse fermo, sarebbe nullo (per la legge di conservazione dell'energia), mentre cambierebbe la direzione del veicolo.

Tenendo conto però che i pianeti non stanno fermi, ma si muovono nelle loro orbite attorno al Sole, si ha che la velocità non cambia se misurata in riferimento a essi, mentre è differente se la si misura rispetto al Sole. Il guadagno di energia cinetica è spiegato dal fatto che è il pianeta a perdere parte della propria, rallentando il suo moto di rivoluzione e stringendo la sua orbita, anche se in maniera del tutto trascurabile. Questo perché il trasferimento di energia dal pianeta al veicolo è inversamente proporzionale alle masse: il pianeta perde così una quantità irrisoria di energia, lasciando praticamente invariata la propria orbita.

In base alla traiettoria, l'astronave può guadagnare fino a due volte la velocità orbitale del pianeta.



Schema di fionda gravitazionale: la velocità della navicella aumenta fino a due volte la velocità del pianeta

Un osservatore stazionario vede un pianeta in movimento verso sinistra a velocità U e una navicella spaziale che si muove verso destra a velocità v . Seguendo la giusta traiettoria, la navicella passa vicino al pianeta, muovendosi a velocità $v + U$ rispetto alla superficie del pianeta, poiché il pianeta si muove in direzione opposta a velocità U . Quando la navicella lascia l'orbita, è ancora in movimento a $U + v$ rispetto alla superficie del pianeta, ma in senso opposto (verso sinistra). Poiché il pianeta si muove verso sinistra a velocità U , la velocità totale della navicella rispetto all'osservatore sarà la velocità del pianeta in movimento più la velocità della navicella rispetto al pianeta. Quindi la velocità sarà $U + (U + v)$, vale a dire $2U + v$.

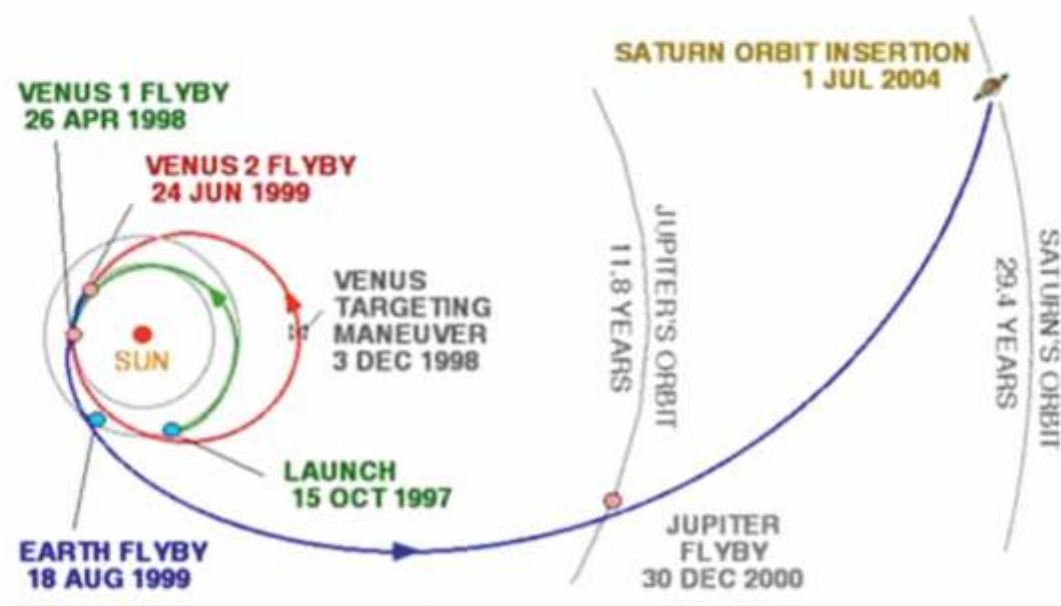
Possiamo avere due possibili passaggi nella sfera d'influenza del pianeta. Il passaggio a valle del pianeta avviene quando la velocità di uscita è minore di quella di entrata e quindi abbiamo una perdita di energia cinetica nel moto del satellite rispetto al Sole (rallentamento). Questa operazione viene spesso indicata con flyby in front of the planet. Il passaggio a monte del pianeta avviene invece quando la velocità di uscita è maggiore di quella di entrata e quindi abbiamo un acquisto di energia cinetica nel moto del satellite rispetto al Sole (accelerazione). Questa operazione viene spesso indicata con flyby behind the planet.

Un volo che utilizzi più di una fionda gravitazionale diventa lungo rispetto ad un trasferimento alla Hohmann, ma diminuisce in modo considerevole il delta V, permettendo di mandare in orbita veicoli spaziali più pesanti.

Il principale limite pratico dell'uso di una fionda gravitazionale è la quantità di massa disponibile per ricevere la spinta.

Un altro limite è causato dall'atmosfera del pianeta. Più si è vicini al pianeta, maggiore è la spinta che si ottiene. Ma se una sonda è troppo vicina all'atmosfera, l'energia persa per via dell'attrito con questa, può essere superiore a quella guadagnata dall'effetto fionda. Questo effetto può essere utile se l'obiettivo è quello di perdere energia (aerofrenaggio).

Oggi non è prevista alcuna missione esplorativa dello spazio oltre l'orbita di Giove che non preveda un gravity assist con il pianeta. Il consumo di carburante sarebbe, in alternativa, proibitivo. Tuttavia, conseguenza diretta dell'utilizzo di molteplici gravity assist è un allungamento dei tempi di crociera rispetto a un lancio diretto verso l'obiettivo finale. Per esempio, la sonda Cassini-Huygens ha impiegato rispettivamente tre anni per raggiungere Giove, dopo tre swing-by con Venere e con la Terra. La sonda lanciata nel 1997 e' giunta su Saturno, sua destinazione finale, nel 2004.



Viaggio della sonda Cassini-Huygens