

ASTRONAUTICA ieri, oggi e domani

a cura di Carlo Rinaldo (marzo 2005)

L'argomento trattato è l'ASTRONAUTICA, perciò parlerò di quei veicoli, abitati o no, che vengono inviati al di fuori dell'atmosfera terrestre per entrare in orbita o viaggiare verso altri corpi celesti. Anche se l'astronautica ha mosso i primi passi solo pochi decenni fa, essa ha prodotto un gran numero di realizzazioni, avendo avuto un progresso enormemente accelerato. La materia è diventata vastissima: è quindi necessario selezionare alcuni argomenti da trattare; in questa conversazione ho inserito la storia dell'astronautica con le sue tappe fondamentali, i principi basilari dell'astronautica (senza formule matematiche), le realizzazioni attuali, le prospettive future. Qualche parte non avrà uno sviluppo adeguato, ma come ho detto si tratta di una scelta.

1 - I PIONIERI DELL'ASTRONAUTICA

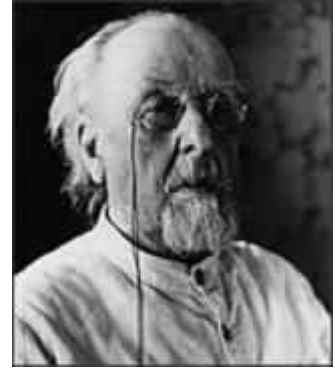
Il primo studioso di astronautica fu il russo Konstantin Tsiolkovski, nato nel 1857, maestro di scuola e docente di matematica e fisica, il quale scrisse numerosi saggi sulla propulsione a reazione e sul funzionamento dei razzi nel vuoto, esaminando scientificamente molti aspetti tecnici del volo spaziale.



Già nel 1903 pubblicò *"L'esplorazione dello spazio mediante apparecchi a reazione"*; da notare che il 1903 è lo stesso anno nel quale i fratelli Wright riuscivano a sollevarsi da terra per pochi metri con il primo aereo a motore:

Tsiolkovski stava già teorizzando voli nello spazio profondo. Nei suoi scritti propose l'uso di razzi a propellente liquido, di razzi multistadio per raggiungere la velocità di fuga dalla Terra, di astronavi abitate, di stazioni e colonie spaziali, il tutto con estremo rigore scientifico.

Tsiolkovski, che è considerato il padre dell'astronautica, morì nel 1935 senza avere la possibilità tecnica di realizzare le sue intuizioni, che invece furono messe in pratica da un americano, il dottor Robert Goddard, professore di fisica alla Clark University del Massachusetts. Il primo razzo di Goddard si alzò nel marzo 1926 per soli due secondi, raggiungendo l'altezza di 12 metri: un primo piccolissimo passo! Negli anni successivi Goddard realizzò razzi a propellente liquido sempre più efficienti sperimentando diverse tecniche come i deflettori mobili sullo scarico del motore a razzo, i giroscopi per la guida automatica ed il recupero degli strumenti mediante paracadute; teorizzò inoltre il raggiungimento della Luna.



K. Tsiolkovski

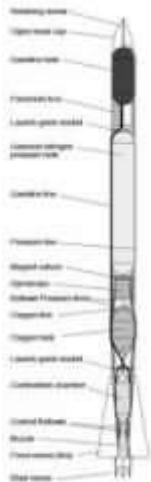


Razzo Serie A di Goddard



W. Von Braun

PERCHE' I RAZZI



Al tempo di Goddard era già sviluppata l'aviazione; perché occorreva un nuovo tipo di veicolo per navigare nello spazio? Gli elementi da considerare sono diversi. Innanzi tutto l'aria: gli aerei volano perché sono sostenuti dall'aria ed usano l'ossigeno in essa contenuto per bruciare il combustibile e far funzionare i loro motori; per questa ragione non possono essere usati al di fuori dell'atmosfera. Poi la potenza necessaria: per sottrarsi all'attrazione gravitazionale terrestre o anche solo per entrare in orbita, occorre raggiungere velocità molto più elevate di quelle degli aerei ed i turboreattori non hanno un rapporto peso/potenza sufficiente a generarle. La forza che spinge un razzo è dovuta all'espansione dei gas provocata dalla combustione di una sostanza liquida o solida; i gas trovano un'uscita attraverso l'ugello di scarico ed il razzo viene spinto nella direzione opposta, per la terza legge di Newton:

1) Ad ogni azione corrisponde sempre una reazione uguale e contraria; in altre parole le azioni reciproche di due corpi sono sempre uguali tra loro e dirette in versi opposti. Nel caso dei razzi mentre i gas in espansione si spostano all'indietro, il corpo del razzo è spinto in avanti: è la propulsione ideale per il vuoto, in quanto l'atmosfera non solo non è necessaria ma avrebbe addirittura un effetto frenante. In ogni processo di combustione sono necessari

il **combustibile** ed il **comburente**. Combustibili sono ad esempio il carbone, la benzina, il gas metano; normalmente il comburente è l'ossigeno che si trova nell'atmosfera: tutti i motori terrestri funzionano così. Ne consegue che i razzi, per operare al di fuori dell'atmosfera, debbono portarsi oltre al combustibile anche il comburente; questo può essere l'ossigeno liquido oppure dei composti solidi che sviluppano ossigeno durante la combustione.



In verità i razzi erano stati inventati circa mille anni fa in Cina; bruciavano la polvere pirica e sembra che un nobile cinese sia stato il primo uomo a volare spinto da un razzo: Wan-Hoo, questo il nome dell'audace, collegò una sella da cavallo a due enormi aquiloni e dopo esserci salito fece accendere i 47 razzi applicati all'apparecchio, che s'innalzò verso il cielo precipitando subito dopo. Verso il 1600 i soldati cinesi usavano delle farette che lanciavano tutte insieme le frecce, sempre usando la polvere pirica. Ovviamente questi antefatti non hanno nulla a che vedere con l'astronautica mentre il lavoro di Tsiolkosky e di Goddard, benché meno spettacolare, fu effettuato con metodo scientifico e costituì la base per successivi sviluppi.

VON BRAUN



Un passo importante nella tecnica missilistica fu compiuto, purtroppo per esigenze belliche, durante la seconda guerra mondiale, ad opera di Werner Von Braun, un ingegnere tedesco che realizzò la famigerata V2 allo scopo di bombardare Londra dal 1943 in poi. Prima della V2 era stata usata la V1, che era una bomba volante, in pratica un aereo senza pilota spinto da uno statoreattore e fornito di un sistema automatico di guida che lo faceva volare verso l'Inghilterra per poi precipitare verso l'obiettivo. La V2 invece era un vero missile a combustibile liquido, con una lunghezza di 14 metri ed un raggio d'azione di 300 chilometri; non aveva ali, raggiungeva velocità maggiori e seguiva una traiettoria balistica per cui era impossibile intercettarla con i mezzi allora disponibili, il che causò gravi perdite tra la popolazione di Londra. La V2 fu il primo vero razzo vettore dell'astronautica. Le autorità naziste si giovarono delle invenzioni di Von Braun, anche se non lo vedevano di buon occhio, perché - dicevano - "pensa più alla Luna che alla vittoria della Germania". Se ne era accorto anche Hitler che, parlando di lui, disse: "Un razzo costa una follia al confronto di un bombardiere! Quel pazzo pensa sempre alle stelle."

2 - LA CORSA ALLO SPAZIO

Finita la guerra il gruppo di Von Braun si smembrò: alcuni tecnici e scienziati si trasferirono nell'Unione Sovietica mentre altri e lo stesso Von Braun migrarono negli Stati Uniti; in questi due paesi ebbe origine la corsa allo spazio, sostenuta dai governi principalmente per ragioni strategiche. Era infatti iniziato il periodo della guerra fredda tra i due blocchi e si stava instaurando l'equilibrio del terrore atomico: chi poteva mettere in orbita un satellite artificiale dimostrava al mondo di essere in grado di costruire missili intercontinentali per colpire il blocco avversario. In quel periodo si riteneva che gli Stati Uniti fossero all'avanguardia in tutti i settori della scienza e della tecnica ed erano noti a tutti i tentativi, ed anche gli insuccessi, della missilistica americana, mentre poco o nulla si sapeva di quella russa.

Due frasi celebri sintetizzano la situazione:

- "Contiamo di mettere in orbita un satellite artificiale entro il 1957." (*Dwight Eisenhower, Presidente degli Stati Uniti*)
- "Non cantiamo mai prima di avere fatto l'uovo." (*Nikita Kruscev, Premier dell'Unione Sovietica*)

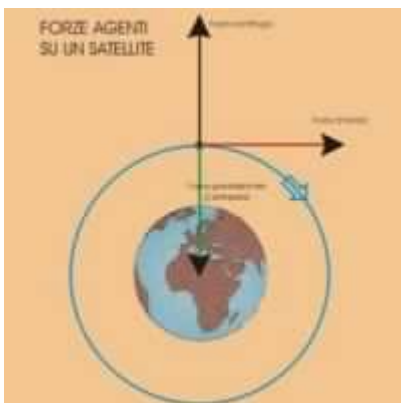


Ma proprio dai russi venne la sorpresa: la messa in orbita del primo satellite artificiale, lo **Sputnik 1**, il 4 ottobre del 1957. Lo Sputnik era una sfera del diametro di 58 centimetri e del peso di appena 84 chilogrammi, si muoveva su un'orbita ellittica, a una distanza compresa tra 228 e 947 chilometri. Alla velocità di 29.000 chilometri all'ora impiegava poco più di 90 minuti per ogni giro intorno alla Terra; dello Sputnik è rimasto famoso il bip-bip udibile sui canali radio. Ancora maggior sensazione provocò il primo lancio in orbita di un animale, la famosa cagnetta Laika, avvenuto il 3 novembre dello stesso anno, con lo Sputnik 2 del peso di ben 500 Kg. Laika fu chiamata così in Europa, per facilità di pronuncia così come gli anglosassoni la chiamarono Muttник (mutt vuol dire bastardo). Il suo vero nome era Kudryavka e fu purtroppo la prima vittima nota dello spazio. Gli Stati Uniti reagiscono allo shock di aver perduto la supremazia e dopo i fallimenti della Marina nei lanci del Vanguard, riescono ad accorciare le distanze con il gruppo dell'Esercito

guidato da Von Braun, che mette in orbita l'Explorer 1 il 31 gennaio 1958. Questo satellite è comunque più piccolo dello Sputnik, pesa soltanto 14 Kg, è di forma cilindrica lungo 2 metri e con un diametro di 15 cm. e compie l'orbita in circa due ore.

SATELLITI IN ORBITA

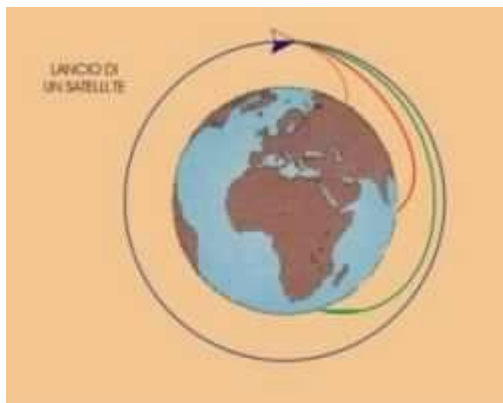
Attualmente abbiamo migliaia di satelliti in orbita terrestre e siamo abituati alla loro presenza ed anche al loro uso quotidiano (ogni parabola televisiva è puntata verso un satellite), ma cinquant'anni fa la cosa aveva del miracoloso: come si sostiene lassù un satellite, perché non cade?



Per spiegare questo fatto occorre considerare l'**attrazione gravitazionale** e la **forza centrifuga**: - Dalla legge della gravitazione universale di Newton sappiamo che la Terra attrae il satellite con una forza che decresce con l'aumentare dell'altezza dal suolo. Nel satellite, che percorre un'orbita intorno al globo, compare una forza centrifuga che aumenta con la velocità e diminuisce con il raggio (il raggio è la distanza dal centro della Terra); vuol dire che la forza centrifuga è maggiore quando aumenta la velocità oppure si riduce il raggio. Questa forza ha verso opposto a quella gravitazionale: ne consegue che un satellite rimane in orbita quando si trova a girare ad una certa altezza con una velocità tale che la forza centrifuga venga bilanciata dalla forza di attrazione terrestre. In pratica ogni orbita

ha una sua propria velocità che diminuisce con l'aumentare dell'altezza; da ciò deriva che ogni satellite compie un giro intorno alla Terra in un tempo che aumenta all'aumentare dell'altezza, sia perché ha una velocità minore sia perché l'orbita da percorrere ha uno sviluppo maggiore. Per esempio un satellite a 300 km di altezza impiegherà 90 minuti a percorrere l'orbita, alla

velocità di quasi 28.000 km all'ora, mentre a 1700 km impiegherà due ore alla velocità di oltre 25.000 km/h. Un'altra conseguenza, basilare nella navigazione spaziale, è che per modificare un'orbita basta modificare la velocità: aumentandola l'orbita diventerà più alta, riducendola invece si abbasserà.



Secondo la Fisica, la forza centrifuga è una forza apparente, cioè causata da altre forze: in questo caso le forze reali sono l'**attrazione gravitazionale** che attira il satellite verso il centro della Terra e la **forza d'inerzia** che tende a farlo proseguire in una direzione tangente all'orbita. Per comprendere meglio la cosa facciamo un esperimento ideale: Immaginiamo di essere in riva al mare, sopra uno scoglio e lanciamo un sasso in orizzontale: il sasso partirà parallelo all'acqua ma rapidamente si abbasserà e toccherà l'acqua; se ripetiamo lanciandolo con più forza il sasso partirà con velocità maggiore e toccherà l'acqua più lontano. Questo accade per l'azione combinata del principio d'inerzia e

dell'attrazione gravitazionale terrestre. Il principio di inerzia è enunciato nella prima legge di Newton: *Ogni corpo mantiene il suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme a meno che su di esso agisca una forza risultante diversa da zero*. Trascurando l'attrito frenante dell'aria il sasso tende a continuare nel suo moto orizzontale per il principio d'inerzia mentre tende a cadere in verticale a causa dell'attrazione gravitazionale; il movimento risultante dipenderà dalla combinazione dei due movimenti e si manifesterà secondo una diagonale (esattamente una parabola) verso il basso-avanti. E' evidente che aumentando la velocità iniziale il sasso cadrà sempre più lontano. Ora immaginiamo di avere un satellite ad una certa altezza, per esempio 200 Km, e di imprimergli una certa velocità in una direzione parallela alla superficie terrestre. Iniziando con una velocità bassa vedremo il satellite cadere sulla Terra ad una certa distanza dalla verticale; aumentando la velocità di lancio il satellite cadrà sempre più lontano, finché ad un certo punto il satellite cadrà *fuori della Terra*: è entrato in orbita e rimane in stato di caduta libera. In pratica la sua traiettoria di caduta ha la stessa curvatura della superficie terrestre per cui non riuscirà più a toccarla.

Una volta un amico mi chiese: ma quanto consuma un satellite per fare un giro intorno alla Terra? Tranquillo, consuma pochissimo, praticamente nulla: un consumo enorme è necessario per il lancio e la messa in orbita: a questo punto il movimento del satellite non richiede una spinta continua, ma prosegue per inerzia. Il suo moto potrebbe continuare indefinitamente se le rare particelle presenti non lo frenassero lentamente, facendo decadere la sua orbita, la quale tuttavia può essere ristabilita attraverso piccole e brevi spinte con propulsori di assetto orbitale.

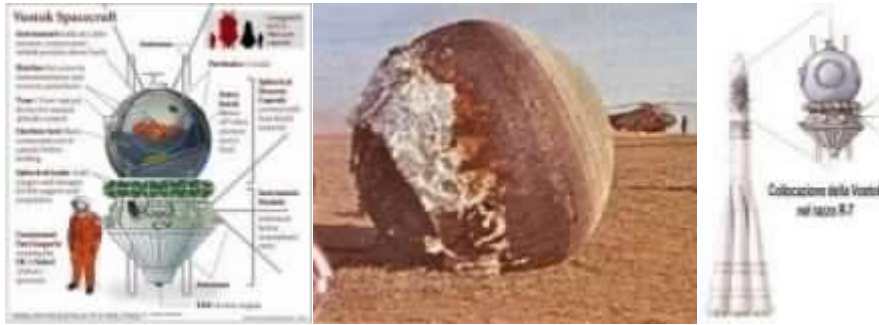
ALTRI PRIMATI RUSSI

Tornando al lancio degli Sputnik del 1958 occorre dire che nel periodo successivo l'Unione Sovietica stabilì diversi altri primati in campo astronautico:

- Gennaio 1959 - Primo veicolo a passare in vicinanza della Luna.
- Settembre 1959 - Primo veicolo a toccare il suolo della Luna
- Ottobre 1959 - Prime fotografie della faccia nascosta della Luna inviate da Luna 3.
- 19 agosto 1960 - Lo Sputnik 5 porta in orbita le due cagnette Selka e Belka, che rientrano sulla Terra sane e salve dopo 18 orbite.
- All'inizio del 1961 viene lanciato il Venusik, la prima sonda destinata a studiare un altro pianeta, Venere.
- Aprile 1961 - **Yuri Gagarin** è il primo uomo in orbita intorno alla Terra sulla navicella Vostok 1 (Est) progettata dal genio astronautico Sergei Koroliov. La Vostok 1 è stata messa in orbita, in poco più di 11 minuti, da un razzo vettore R-7 alto più di 30 metri ed equipaggiato con motori a cherosene ed ossigeno liquido. Prima della fine della prima orbita la Vostok rallentò e rientrò nell'atmosfera.

Il rientro delle Vostok avveniva sulla terra, nell'Unione Sovietica. I retrorazzi ne rallentavano la velocità e di conseguenza la Vostok si abbassava verso terra. Prima di entrare nell'atmosfera la capsula di atterraggio si separava dal modulo con i razzi e gli strumenti; in seguito il contatto con l'aria la rallentava ulteriormente producendo anche

un'elevata temperatura: per questo la capsula era avvolta in uno scudo resistente al calore.



A 7.000 metri di altezza si apriva il paracadute principale quindi l'astronauta veniva eiettato con un seggiolino simile a quello degli aerei a reazione: il pilota e la capsula toccavano terra ognuno con il proprio paracadute



- Giugno 1963 - Valentina Tereskova è la prima donna in orbita intorno alla Terra.
- Marzo 1965 - Alexei Leonov compie con successo la prima **passeggiata spaziale** all'esterno della capsula Voskhod 2, anche se incontra difficoltà al rientro in quanto la tuta si era gonfiata.

Questi successi dell'Unione Sovietica ebbero grande impatto sull'opinione pubblica mondiale, creando euforia in Russia e sgomento negli USA; cito due frasi significative: "L'America dorme sotto una Luna sovietica." (*Nikita Kruscev*), "Dovremo passare alla dogana sovietica quando atterreremo sulla Luna." (*W. von Braun*). Il geofisico russo Riesmicenko disse anche: "Nel secolo scorso, il grande romanziere Giulio Verne descrisse il volo dalla Terra alla Luna attribuendolo al progresso americano... grande errore di attribuzione..." Questo fu evidentemente un giudizio azzardato perché, come sappiamo, la Luna fu conquistata invece dagli Stati Uniti e la missione si svolse, a grandi linee, proprio secondo le fasi immaginate dal romanziere.



Sputnik 1



Luna 3



Y. Gagarin



V. Tereskova

3 - LA REAZIONE AMERICANA

L'America reagisce malissimo a questi successi russi e corre ai ripari. Il 1° ottobre 1958 viene creata la NASA (National Aeronautics and Space Administration) con lo scopo di unificare gli sforzi fino ad allora compiuti separatamente da Marina ed Esercito. Nel 1960 la NASA fece approvare il progetto Mercury, che prevedeva il lancio e la messa in orbita di una capsula spaziale recuperabile con un uomo a bordo, preludio ai voli umani nello spazio, sia in orbita terrestre sia per raggiungere la Luna. Alla fine di maggio 1961 il presidente Kennedy fece lo storico annuncio: gli USA, nel giro di dieci anni, avrebbero mandato un uomo sulla Luna e lo avrebbero riportato sano e salvo sulla Terra. La NASA sotto la guida di Von Braun visse un periodo di intensa attività. Nell'ambito del progetto Mercury John Glenn divenne il primo americano in orbita nel Febbraio 1962 a bordo della capsula Friendship 7. Seguono altre missioni e in poco più di quattro anni vengono messe a punto le tecniche per tenere in orbita un uomo e recuperarlo con un ammaraggio.



Missione Gemini

IL PROGETTO GEMINI



La fase successiva è il progetto Gemini: questa capsula è più grande e può ospitare due astronauti. I lanci iniziano nel 1964 con capsule non pilotate; dal 1965 iniziano i lanci con equipaggio durante i quali viene messa a punto la tecnica del rendez-vous spaziale, l'aggancio in orbita di due navicelle, passo importantissimo per la futura missione lunare. Il primo aggancio riesce nel luglio 1966: per due volte viene agganciato un razzo Agena. L'astronauta Collins compie anche una passeggiata spaziale raggiungendo l'Agena e

perdendo la sua macchina fotografica Hasselblad, che restò in orbita terrestre; ricevette in compenso i ringraziamenti del suo costruttore, Victor Hasselblad, per aver messo in orbita il primo satellite svedese. Il progetto Gemini termina nel novembre 1966 quando Lovell e Aldrin sperimentano diverse tecniche di lavoro nello spazio e mettono a punto definitivamente la tecnica del rendez-vous orbitale. Contemporaneamente erano state portate avanti con successo le esplorazioni della superficie lunare mediante sonde automatiche: sono ormai disponibili le foto di tutta la superficie della Luna. L'uomo è pronto per il primo balzo verso un altro mondo.



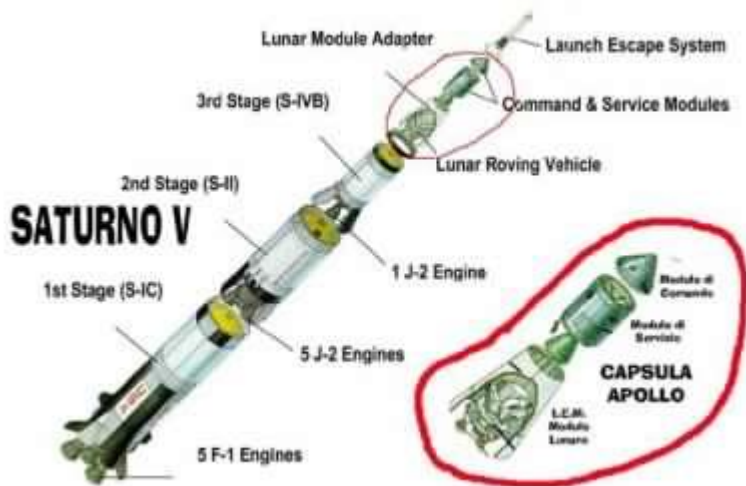
Missione Apollo

IL PROGETTO APOLLO

Inizia ora il progetto Apollo per portare l'uomo sulla Luna con il razzo Saturn V, creatura di Von Braun, il più grande razzo mai realizzato: questo razzo era alto 86 metri e toccava i 111 con la navicella Apollo sovrapposta; era composto da tre stadi e al decollo pesava quasi 3.000 tonnellate. I razzi multistadio, che erano già stati sperimentati, sono composti di più parti, che si accendono in successione e che vengono sganciate nella spazio dopo aver esaurito la loro spinta. Questa tecnica consente di risparmiare carburante e quindi di ottenere maggiori velocità o maggior carico utile; vediamo perché: In astronautica occorre raggiungere velocità elevate partendo da zero per cui ai veicoli deve essere impressa una forte

accelerazione per un certo tempo, il che richiede una quantità enorme di energia. Questa energia viene spesa non soltanto per il carico utile ma soprattutto per le parti che forniscono la spinta: propellenti, serbatoi, motori a razzo e strutture collegate; alla partenza da terra il peso di queste parti è sempre esuberante rispetto al carico utile: per esempio il razzo Atlas che nel 1962 mise in orbita terrestre John Glenn pesava alla partenza circa 130 tonnellate contro le 2 tonnellate della capsula Mercury (98,48%) Il razzo Saturn V pesava al decollo circa 3.000 tonnellate contro le circa 137 tonnellate da mettere in orbita terrestre (94,25%) e le 46 tonnellate da mettere in orbita lunare (98,49%). Supponiamo che dopo un certo tempo dalla partenza si sia consumata la metà del propellente; il veicolo peserà di meno e con la stessa spinta riceverà una maggiore accelerazione, che farà aumentare più rapidamente la velocità. Però le altre parti del razzo manterranno il loro peso intero: si può dire che resta un mezzo razzo vuoto che non produce spinta ma che col suo peso rallenta l'accelerazione. Da qui l'idea di liberarsi di questo peso morto durante la fase di salita costruendo razzi multistadio.

Nel
Saturn
V



il **primo stadio** era alto 42 metri con un diametro di 10; i suoi cinque motori bruciavano 810.000 litri di cherosene e 311.000 litri di ossigeno liquido in 160 secondi.

Il **secondo stadio**, alto 25 metri col diametro di 10, bruciava nei suoi 5 motori 441.000 kilogrammi di idrogeno e ossigeno liquidi in sei minuti.

Il **terzo stadio** col diametro ridotto a 6,6 metri ed alto 18 era spinto da un solo motore ad idrogeno ed ossigeno liquidi; questo motore era progettato per accendersi e spegnersi più volte nel corso delle manovre previste per raggiungere la Luna.

Sopra il terzo stadio del Saturn V era sistemata la **capsula Apollo**, formata da tre parti:

- Il modulo di comando, una capsula per i tre astronauti di forma simile a quella Gemini
- Il modulo di servizio, un cilindro contenente un motore a razzo con il combustibile e tutti i sistemi necessari alla navigazione e alla sopravvivenza
- Il LEM, Modulo di escursione lunare, che doveva scendere sul nostro satellite.

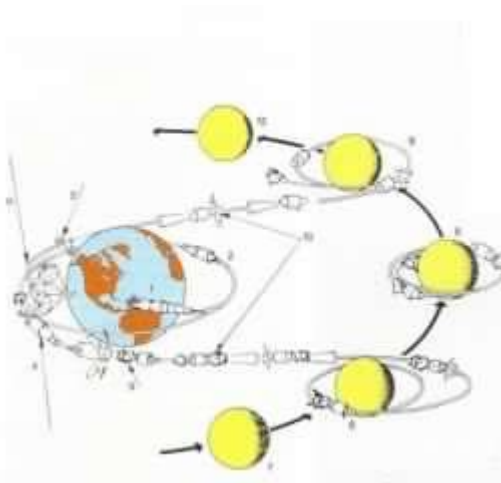
A ben guardare anche la capsula Apollo è un sistema multistadio. Alla partenza sopra la capsula era innestato un razzo di salvataggio,

che in caso di lancio non riuscito avrebbe dovuta staccare la capsula stessa e farla scendere al sicuro appesa ai paracadute. Per inciso questa capsula, del peso di 5 tonnellate, è l'unica parte che rientra a Terra di tutto il complesso che pesa alla partenza 3.000 tonnellate.

I lanci di prova iniziarono nel 1967; nel gennaio purtroppo si era verificato un tragico incidente a terra, che costò la vita a tre astronauti, Grissom, White e Chaffee; infatti durante una simulazione un contatto elettrico provocò un violento incendio che distrusse la capsula a causa dell'atmosfera di ossigeno puro; si trattava di un esperimento tendente ad ottenere certi risparmi di peso. Tra il novembre 1967 e il maggio 1969 vennero effettuate diverse missioni Apollo, con e senza equipaggio e le ultime anche con circumnavigazione della Luna.

4 - L'APOLLO 11: L'UOMO SULLA LUNA

Il 16 luglio partì la missione più famosa, l'Apollo 11. I primi due stadi sollevarono il complesso da terra e impressero le accelerazioni iniziali, venendo subito abbandonati.



Il terzo stadio portò la capsula in orbita terrestre di parcheggio pressoché circolare alla velocità di 28.000 km/h; questa manovra è necessaria perché i propellenti attuali non hanno una potenza tale da permettere di manovrare a piacere nello spazio: essi invece possono fornire brevi periodi di accelerazione dopo i quali è necessario far proseguire il moto secondo il principio d'inerzia, in pratica seguendo l'orbita dettata dalle leggi di Newton; in questo modo la maggior parte del tragitto dalla Terra alla Luna viene coperto senza consumare carburante, se non per le piccole rettifiche che si rendessero necessarie.

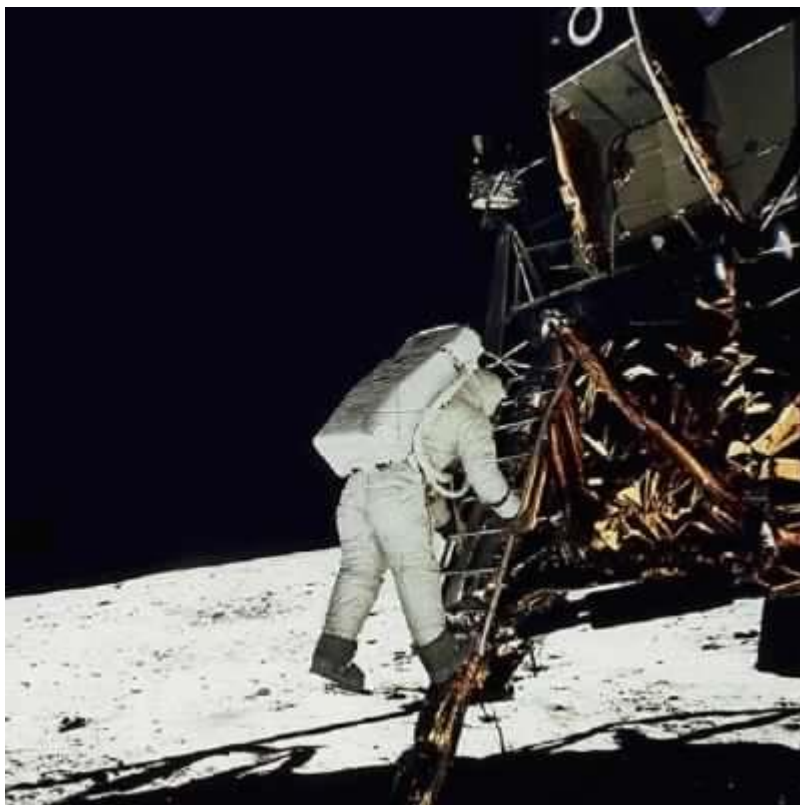


Come è possibile modificare l'orbita? Abbiamo visto che ad ogni altezza da terra corrisponde una precisa velocità che permette ad un corpo di percorrere un'orbita circolare; a livello del terreno questa velocità è teoricamente di 7,91 km/secondo, 28.000 km/ora: è questa la Velocità orbitale. Se il satellite raggiunge la velocità di 11,186 Km/secondo, 40.000 km/ora, abbandonerà l'orbita e si allontanerà per sempre dalla Terra: questa è la **velocità di fuga**. Se invece il corpo ha una velocità intermedia allora percorrerà un'orbita ellittica, con l'apogeo tanto più lontano quanto maggiore sarà la velocità. Nel caso dell'Apollo il terzo stadio imprime un'altra spinta per portare la velocità a 39.000 km/h in modo da inserire la capsula in un'orbita ellittica che raggiunge la Luna.

Il terzo stadio viene abbandonato in questa nuova orbita, al termine della quale l'Apollo, usando il motore del modulo di servizio, corregge la sua traiettoria e si inserisce in orbita lunare. Qui il

LEM, battezzato Eagle, si stacca dal modulo di comando, scende sulla Luna e tocca il suolo frenato dai retrorazzi dello stadio di discesa, portando due dei tre astronauti.

Sarà Neil Armstrong il primo uomo a mettere piede sulla Luna:



*That's one small step for a man ... one giant leap for mankind
(Un piccolo passo per un uomo un balzo gigantesco per l'umanità)*

In seguito scende anche Aldrin ed i due compiono delle brevi passeggiate e adempiono a vari compiti scientifici mentre il terzo astronauta, Collins, continua ad orbitare intorno alla Luna nel modulo di comando, la capsula Columbia. Nello spaccato si vede in basso il motore di discesa e al centro quello di salita (forme coniche grigie), in alto a forma di imbuto il dispositivo di aggancio al modulo di comando. Si nota anche lo spazio minimo a disposizione degli astronauti. La permanenza sulla luna dura quasi 22 ore e comprende anche un sonno ristoratore, dopodiché la parte superiore del LEM accende il suo motore per risalire verso il modulo di comando; la parte inferiore, quella di discesa, viene usata come rampa di lancio e viene lasciata sulla superficie lunare insieme a vari strumenti scientifici, una bandiera americana e una targa (per eventuali alieni di passaggio).



Si è così ricostituito il modulo Apollo, meno il modulo di discesa del LEM che è rimasto sulla Luna. Ora una spinta del modulo di servizio trasforma l'orbita lunare quasi circolare in un'orbita ellittica allungata che comprende anche la Terra. Qui la capsula non deve entrare in orbita ma tuffarsi nell'atmosfera, che la rallenterà ulteriormente. L'angolo di impatto deve essere preciso, perché un angolo troppo basso (radente) metterebbe la capsula in orbita o addirittura la farebbe

rimbalzare verso l'esterno, mentre un angolo troppo alto produrrebbe un eccessivo riscaldamento per attrito che brucerebbe la capsula come una meteora. La penetrazione graduale consente invece una lunga e lenta frenata e permette allo scudo di disperdere il calore in eccesso. L'esatta direzione di ingresso viene impressa dal modulo di servizio, che subito dopo viene abbandonato; all'altezza di 8.000 metri inizia la sequenza di apertura degli 8 paracadute e infine la capsula si posa nelle acque dell'Oceano Pacifico.



Armstrong, Collins e Aldrin

5 - LE ALTRE MISSIONI APOLLO

Le missioni Apollo continuarono fino al dicembre 1972 e terminarono con Apollo 17, senza avere l'impatto emotivo di Apollo 11 (a tutto ci si abitua). Furono estese le osservazioni scientifiche e la raccolta di campioni lunari; furono anche usate delle "Moon-Rover" elettriche trasportate dal LEM e montate sulla Luna.

APOLLO 13: SFIORATA LA TRAGEDIA

La missione più famosa è Apollo 13; qui gli astronauti rischiarono il naufragio spaziale a causa di un'esplosione nel modulo di servizio che mise fuori uso i sistemi principali.



L'incidente si verificò in vicinanza della Luna e la notizia fu data al centro di controllo con la ormai famosa frase:

*"OK Houston, we have had a problem"
Houston, abbiamo un problema*

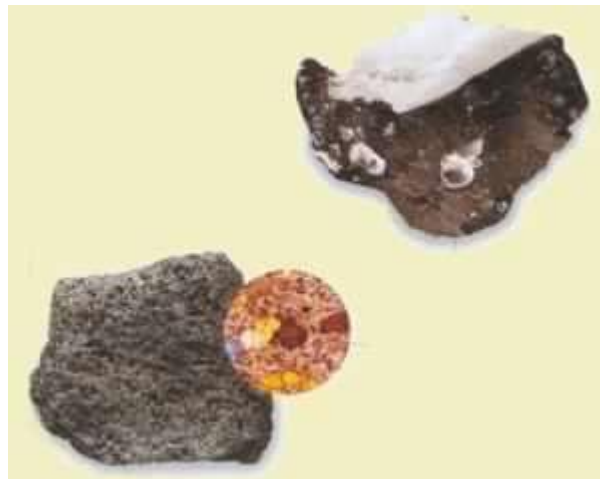
Con il modulo di servizio fuori uso non solo si dovette rinunciare allo sbarco sulla Luna ma sorsero seri problemi circa il ritorno sulla Terra ed il salvataggio degli uomini. Per fortuna gli esperti del Centro di Houston riuscirono ad escogitare delle procedure per mantenere in

vita l'equipaggio e riportarlo a Terra. Gli astronauti si trasferirono nel LEM, denominato Aquarius, che aveva riserve di aria ed acqua; essi vennero istruiti su come improvvisare un impianto per depurare l'aria usando dei componenti che erano disponibili. La capsula Apollo venne lasciata continuare fino a circumnavigare la Luna, poi corresse velocità e direzione usando il LEM, anziché il modulo di servizio e si diresse verso la Terra. Il viaggio di rientro fu probabilmente denso di preoccupazioni e quanto meno scomodo, data la scarsità di acqua, l'eccesso di anidride carbonica e la temperatura scesa ad appena 2 gradi. Il modulo di servizio

danneggiato fu abbandonato circa 4 ore prima di raggiungere l'atmosfera terrestre; in questa occasione venne anche fotografata la parte danneggiata. Infine la capsula riuscì ad ammarare senza ulteriori problemi.



Il programma Apollo fornì agli scienziati una quantità enorme di materiale da studiare, comprese le foto della superficie e circa 2.000 campioni di roccia, sabbia e polvere lunare:



Terminato l'Apollo non vi furono altri programmi per portare l'uomo su altri corpi celesti. La Russia non partecipò alla corsa alla Luna, dichiarando di voler raggiungere gli stessi risultati scientifici con le sonde automatiche, meno costose e senza rischi umani. Gli USA, forse appagati dalla supremazia dimostrata ed anche a causa degli alti costi delle imprese, si rivolsero ad altri obiettivi, ad una astronautica più vicina alla Terra.

6 - LE SONDE LUNARI E PLANETARIE

Le sonde spaziali sono dei veicoli inviati fuori della Terra principalmente per acquisire dati scientifici e fotografie.

LE SONDE LUNARI



Le Sonde Lunari furono lanciate fin dal 1959; sono famose le numerose Luna e Zond sovietiche e i Ranger, Lunar Orbiter e Surveyor degli Stati Uniti. Le sonde lunari vengono lanciate su traiettorie simili a quelle dell'Apollo: da un'orbita terrestre si aumenta la velocità e si entra in un'orbita che comprende anche la Luna; con le opportune correzioni le sonde possono entrare in orbita attorno alla Luna, circumnavigarla o anche scendere su di essa. Le manovre da compiere sono in parte effettuate automaticamente grazie alla combinazione di sensori e computer, in parte vengono radiocomandate dalla base a Terra, alla quale pervengono tutti i dati rilevati dalla sonda. In particolare i **Lunar Orbiter** ed i **Surveyor** svolsero un ruolo fondamentale per la riuscita del Programma Apollo; i primi eseguirono la mappatura fotografica dell'intera superficie lunare ed i secondi presero contatto col suolo lunare per saggiarne la consistenza e per eseguirne analisi chimiche.



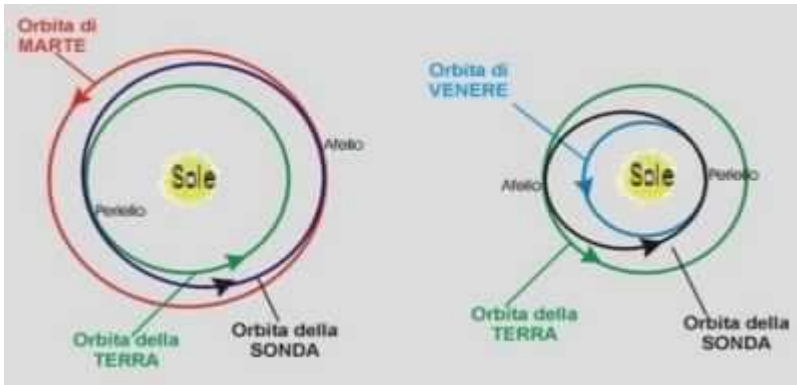
L'impegno russo portò al successo di **Luna 9**, che nel gennaio 1966 effettuò il primo allunaggio morbido. Alcune sonde, come Luna 24, l'ultima della serie lanciata nell'agosto 1976, erano progettate per scavare nel suolo lunare e prelevare dei campioni da riportare sulla Terra; i campioni venivano introdotti in un contenitore sferico che era espulso al rientro nell'atmosfera e che scendeva appeso a due paracadute, per essere poi rintracciato mediante una radiotrasmittente posta al suo interno.



Due sonde di questa serie portarono sul terreno lunare il veicolo semovente **Lunakhod** (*camminatore lunare*). Il Lunakhod era un robot molto complesso, muniti di fotocamere panoramiche e stereoscopiche, magnetometro, sonde per il terreno e analizzatori chimici a raggi X. Erano lunghi poco più di 2 metri, alimentati da un generatore nucleare e pannelli solari, venivano guidati da terra da un equipaggio di 5 uomini, che ricevevano le immagini del suolo da una telecamera. Le sonde Zond registrarono molti insuccessi, però alcune portarono in orbita lunare alcuni animali facendoli rientrare salvi a terra.

LE SONDE PLANETARIE

Le sonde planetarie sono simili a quelle lunari per scopi e funzionamento; sono però inviate verso altri pianeti del sistema solare. Qui la distanza da coprire aumenta enormemente: sembrerebbe necessario un aumento considerevole della spinta, cosa impossibile da realizzare data la limitata potenza dei combustibili attuali. Per fortuna non è così, vediamo perché. Come si è già visto con la missione Apollo la maggior parte del propellente viene consumato per mettersi in orbita terrestre (su 3.000 tonnellate di peso alla partenza soltanto 137 entravano in orbita, con un consumo pari al 94,25% del totale); però una volta in orbita è possibile, con modeste spinte, immettersi nelle traiettorie ellittiche gravitazionali, che possono essere percorse indefinitamente senza ulteriore consumo. Nel caso delle sonde planetarie vengono seguite le orbite di trasferimento di Homan, che si basano su questo principio: la sonda parte dalla Terra, per cui si trova già gratuitamente in un'orbita attorno al Sole, come d'altra parte anche il pianeta da raggiungere; sarà pertanto sufficiente modificare l'ellitticità dell'orbita della sonda intorno al Sole per farla arrivare fino all'orbita del pianeta.



Per esempio, l'orbita Homan per raggiungere Marte, che è un pianeta esterno, deve avere il punto più vicino al Sole (perielio) in coincidenza con l'orbita della Terra e il punto più lontano dal Sole (l'afelio) in coincidenza con l'orbita di Marte. Per raggiungere quest'orbita si lancia la sonda al disopra dell'atmosfera; qui la sonda, come la Terra, ha già la velocità orbitale intorno al Sole per cui aumentandola al disotto della velocità di fuga si otterrà un'orbita ellittica. In pratica imprimendo la giusta velocità nella direzione della rivoluzione terrestre rispetto al Sole si ottiene che l'afelio della sonda sfiori l'orbita di Marte. Per Venere invece, che è un pianeta interno, l'orbita Homan ha l'afelio sull'orbita della Terra e il perielio sull'orbita di Venere. Al momento del lancio la velocità della sonda rispetto al Sole verrà rallentata imprimendole una spinta contraria al moto di rivoluzione della Terra, in misura tale da immettere la sonda in un'orbita con il perielio sull'orbita di Venere. In entrambi i casi l'orbita di trasferimento verrà percorsa secondo le leggi della meccanica celeste senza alcuna spinta dei motori razzo, che saranno invece usati per far scendere la sonda sul pianeta. Però seguendo l'orbita gravitazionale il tempo di trasferimento non può essere modificato a piacere perché dipende dalle leggi di Newton (per Venere circa 4 mesi, per Marte oltre 6 mesi); è pertanto necessario effettuare il lancio quando la Terra ed il pianeta da raggiungere saranno in una posizione reciproca tale che risultino uguali il tempo impiegato dalla sonda e quello impiegato dal pianeta per arrivare al punto d'incontro. Ne consegue che i lanci non possono avvenire in qualsiasi momento: esistono le cosiddette finestre di lancio, che sono dei brevi periodi durante i quali si realizzano le condizioni necessarie. Per Marte queste finestre si aprono ogni 25 mesi e per Venere ogni 19 mesi.

Utilizzando questa tecnica sono state effettuate parecchie missioni planetarie, delle quali ricorderemo le principali.

MISSIONE MARINER



Le due sonde Mariner 2 e 4 furono lanciate verso Marte nel 1962 e nel 1964 e furono le prime ad effettuare un passaggio ravvicinato su un altro pianeta. Lo scopo principale era quello di sperimentare questa tecnica e di ottenere buone immagini del suolo marziano. Le dimensioni superavano di poco il metro e mezzo, con un peso di oltre 200 kg.

MISSIONE VIKING

La missione su Marte è stata compiuta dalle due sonde Viking 1 e 2, ciascuna formata da due moduli, uno orbitale ed uno di atterraggio. Gli obiettivi principali della missione erano ottenere immagini dettagliate della superficie marziana, studiare la composizione dell'atmosfera e del suolo e cercare segni di vita.



Si iniziò nell'agosto 1975 con il lancio del Viking 1 terminando nel novembre 1982 con le ultime trasmissioni ricevute sulla Terra. La missione ebbe pien successo: l'**Orbiter** riprese dettagliate immagini delle varie formazioni marziane; il **Lander** prelevò ed analizzò campioni del suolo; non fu trovata invece alcuna traccia di vita, presente o passata.

PIONEER VENUS

La caratteristica di questa missione è di essere composta da due elementi lanciati separatamente:



L'**Orbiter** Inserito in orbita intorno a Venere nel Dicembre 1978 ha la forma di un cilindro piatto di 2 metri e mezzo di diametro con strumenti per studiare il suolo, l'atmosfera, il vento solare, il campo magnetico ed altro. Il **Venus Multiprobe** comprende a sua volta un contenitore con quattro sonde atmosferiche; la sonda più grande è scesa con un paracadute, le tre piccole senza. Tutti questi elementi hanno rilevato una quantità di dati di varia natura.

MISSIONE MAGELLANO

La sonda Magellano fu lanciata nel maggio 1989 con il compito di tracciare una mappa radar completa della superficie di Venere. La missione terminò nell'ottobre 1994; quando fu perduto il segnale; ben il 98% della superficie e della sua altimetria era stata rilevata con una risoluzione inferiore ai 100 metri.

MISSIONE MARS PATHFINDER



La missione fu progettata allo scopo di testare la possibilità di esplorare il terreno marziano a costi ridotti rispetto alle missioni con invio di astronauti ed era composta da un modulo di atterraggio fermo sul suolo e da un piccolo semovente (rover), chiamato Sojourner. Il Pathfinder fu lanciato nel dicembre 1996 e raggiunse Marte nel luglio 1997. Il rover misurava appena 63x48 centimetri e si muoveva su sei ruote azionato da pannelli solari; poteva effettuare vari test scientifici e riprendere immagini anche a colori; tutti i dati venivano trasmessi a Terra tramite il collegamento radio col modulo di atterraggio. Le comunicazioni si interruppero nel settembre 1997.

7 - LE SONDE INTERPLANETARIE

Poco dopo la conquista della Luna furono accelerati i progetti delle sonde a largo raggio, che andassero oltre la Luna ed i pianeti del sistema solare: sono famose le missioni delle sonde Pioneer 10 ed 11 e quelle delle sonde Voyager 1 e 2.

PIONEER

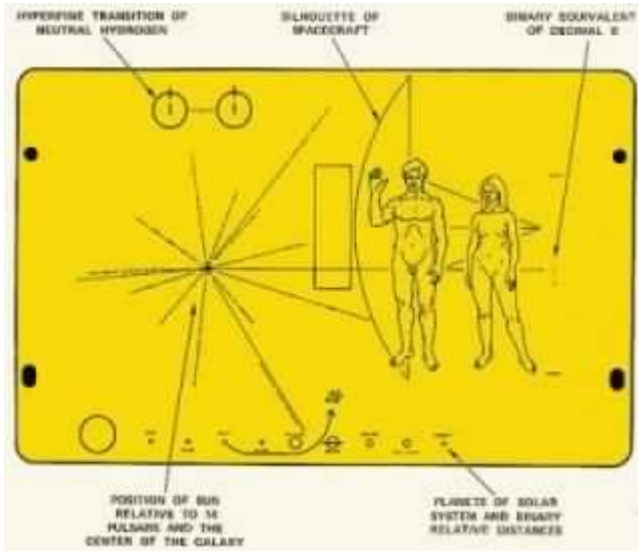
Il Pioneer 10 fu lanciato nel marzo 1972 e dopo 8 mesi raggiunse Giove proseguendo verso Saturno. Il Pioneer 11 venne lanciata nell'aprile 1973 passando in seguito nei pressi di Giove e di Saturno, nel settembre 1979. I due Pioneer furono dotati di generatori a radioisotopi che avrebbero fornito una potenza di 140 watt (il consumo di una grossa lampadina) per alimentare gli strumenti di bordo anche in assenza della luce solare.



Memorabili sono le foto scattate da distanza ravvicinata della Grande macchia rossa di Giove, degli anelli di Saturno e della sua luna Titano. La trasmissione delle foto e di data scientifici si interruppe, per insufficiente potenza elettrica, nel settembre 1995 per il Pioneer 11 e nel 1997 per il gemello 10. Le due sonde continuano comunque per inerzia la loro traiettoria che le porta sempre più lontano dal

Sole.

Con il Pioneer si è tentato di realizzare un contatto con civiltà extraterrestri affidandosi al vecchio sistema del "messaggio nella bottiglia". Il messaggio è inciso su una placca dorata contenente schematiche informazioni sulla Terra ed i suoi abitanti.



VOYAGER



Le due sonde gemelle - Voyager 1 e 2 - furono lanciate a pochi giorni di distanza l'una dall'altra verso la fine del 1977, su due rotte diverse e con lo scopo di esplorare i pianeti del sistema solare per 4 o 5 anni: in realtà le due sonde continuano tuttora nel loro viaggio e trasmettono continuamente informazioni ed immagini. Durante i primi dodici anni le due sonde hanno avvicinato 4 pianeti e 48 lune inviando immagini

spettacolari, impossibili da ottenere con i telescopi terrestri. Hanno anche rilevato la presenza dei venti su Nettuno, di strani nodi sugli anelli di Saturno e di vulcani su una luna di Giove.



Oggi Voyager 1 è l'oggetto costruito dall'uomo più lontano dal nostro pianeta: si trova a una distanza pari a 85 Unità Astronomiche (U.A.=distanza della Terra dal Sole) più del doppio del raggio del sistema solare. Voyager 2 è poco più vicino alla Terra. Le due sonde si stanno allontanando dal Sistema solare a una velocità di poco più di 3 U.A. per anno.



Anche al Voyager è stato affidato un messaggio: la presentazione del nostro pianeta e della nostra forma di vita evoluta sotto forma di un disco fonografico nel quale sono registrati documentazione scientifica, immagini, suoni (rumori, voci e musiche) con codifiche di tipo microsolco e televisiva a scansione di linee. Insieme al disco è fissata sulla astronave anche la testina di lettura ed è stato ideato un sistema per guidare gli eventuali ritrovatori alla decodifica del contenuto. Il lavoro di preparazione del disco è stato guidato dallo scienziato della NASA Carl Sagan, che aveva grande interesse per la ricerca di vita intelligente. Secondo le ultime notizie la Nasa avrebbe deciso per mancanza di fondi di interrompere la raccolta dati delle due celebri navicelle spaziali il prossimo mese di ottobre 2005. Dopo l'uscita dal sistema solare ed il probabile distacco dal centro di comunicazione i Voyager si dirigeranno verso altri sistemi solari; le loro traiettorie sono divergenti, Voyager 1 si dirige verso l'Orsa Minore, Voyager 2 verso la costellazione di Andromeda.

Viene spontaneo chiedersi come siamo riusciti a mandare dei veicoli così lontani dalla Terra, considerando tutte le difficoltà e le limitazioni imposte dalla scarsa (relativamente) potenza dei razzi attuali.



La risposta è ancora una volta lo sfruttamento delle forze gravitazionali planetarie, in un modo ancora diverso da quello usato per le sonde planetarie.

Consideriamo il Voyager 2: al lancio da Terra è stato immesso in un'orbita Homan con apogeo Giove, indirizzandolo opportunamente perché sfiorasse il pianeta (luglio 1979) in modo tale da subire una deviazione in direzione di Saturno; qui in modo simile è stato indirizzato verso Urano (agosto 1981) e poi ancora verso Nettuno (gennaio 1986), che ha sfiorato nel l'agosto 1989.

Da allora ha continuato ad allontanarsi dal sistema solare, in quanto i rilanci gravitazionali ne hanno modificato la velocità portandola al di sopra della velocità di fuga dal sistema, che tra l'altro diminuisce man mano che la sonda si allontana dal Sole.

ALTRE MISSIONI

La tecnica dell'accelerazione gravitazionale è stata usata in seguito per altre missioni a largo raggio; ne ricorderemo alcune.

MARINER 10



È stata la prima sonda ad usare la spinta gravitazionale di un pianeta e la prima a raggiungere Mercurio. Lanciata nel novembre 1973 fu messa in un'orbita solare coincidente con quella di Venere, trasmettendone immagini. Qui fu accelerata gravitazionalmente verso Mercurio intorno al quale compì parecchie orbite, trasmettendo dati ed immagini fino al 1975.

MISSIONE VEGA (Venera-Halley)



Queste due sonde dell'Unione Sovietica fecero seguito a tutta la serie della sonde Venera ed ebbero il doppio compito di esplorare Venere e di avvicinarsi alla cometa di Halley. Entrambe lanciate nel dicembre 1984 verso Venere dove furono liberati due oggetti: una sfera del diametro di circa due metri e mezzo che, frenata dall'atmosfera, si posò sul suolo e trasmise dati sull'atmosfera e sulla superficie; un pallone aerostatico di 3 metri e mezzo liberato all'altezza di

54 km, che per 47 ore trasmise dati sull'atmosfera e sui venti di Venere. Intanto la sonda Vega era stata rilanciata verso l'incontro con la Halley, nel marzo 1986.

MISSIONE GIOTTO



La missione Giotto aveva lo scopo di studiare da vicino la cometa di Halley, il che avvenne nel marzo 1986 quando giunse a poco più di 500 km dal nucleo. La Halley si trovava allora alla distanza di 0.89 UA dal Sole e di 0.98 UA dalla Terra; moltissimi furono i dati trasmessi anche se 40 secondi prima del massimo avvicinamento la sonda fu colpita da una particella che danneggiò diversi strumenti. Continuando nella sua traiettoria Giotto si riavvicinò alla Terra nel luglio del 1990 e con la spinta

gravitazionale ottenuta poté incontrare la cometa Grigg-Skjellerup nel luglio del 1992 alla distanza di 200 chilometri, concludendo ufficialmente la missione.

MISSIONE GALILEO



La sonda Galileo fu lanciata nell'ottobre 1989 da uno Shuttle e fu immessa in un'orbita che la portò due volte nelle vicinanze di Venere e della Terra; sfruttando l'effetto gravitazionale di questi due pianeti la sonda aumentò la sua velocità e si diresse verso Giove, nei pressi del quale fu sganciato il 'Probe', una sonda minore che entrò nell'atmosfera gioviana nel dicembre 1995. Lo scopo principale della missione era quello di studiare Giove, i suoi satelliti e la sua atmosfera; furono anche effettuati studi riguardanti la Terra, la Luna, Venere e due asteroidi. Per puro caso fu anche possibile osservare da vicino l'impatto su Giove dei frammenti della cometa

Shoemaker-Levy.

MISSIONE DEEP SPACE 1



Lanciata nell'ottobre 1998 era stata progettata per studiare da vicino la cometa Borrelly, che raggiunse tre anni dopo riprendendo immagini eccezionalmente nitide del nucleo, in quanto la cometa si trovava allora abbastanza lontana dal Sole da non aver ancora iniziato una forte emissione di gas e polveri. La missione è stata anche un test completamente riuscito del motore a ioni a gas xeno di recente realizzazione.

8 - LE STAZIONI SPAZIALI

Un grande passo avanti verso i viaggi interplanetari è stato compiuto con la realizzazione delle Stazioni spaziali e delle Navette spaziali. Le prime costituiscono una base di lancio, di attracco e di manutenzione per altri veicoli, mentre le seconde sono il mezzo più idoneo ad assicurarne i collegamenti con la Terra. Per stazione spaziale si intende un mezzo orbitante intorno ad un corpo celeste e che permetta la vita di un equipaggio per lunghi periodi di tempo.

Le funzioni sono molteplici:

- acquisire dati sulla permanenza prolungata di uomini nello spazio
- sperimentare nuove tecniche in assenza di gravità
- rifornimento, manutenzione e riparazione di veicoli spaziali
- in prospettiva, costruzione di veicoli spaziali per lunghi viaggi verso altri corpi celesti

Anche il primo progetto di stazione spaziale risale al russo Kostantin Tsiolkosky nei primi anni del 1900: egli la immaginò come un grande cilindro che avrebbe dovuto ruotare per creare all'interno una gravità artificiale (effetto centrifugo). Negli anni '50 Werner Von Braun propose una stazione spaziale a forma di ruota, sempre per fornire una gravità artificiale (ecco da chi ha copiato Kubrick per il film Odissea nello spazio!).

DALLA SALYUT ALLA MIR

Per la realizzazione pratica della prima stazione si dovette però attendere fino all'aprile 1971, quando l'Unione Sovietica mise in orbita la **Salyut 1**. Era questa una struttura relativamente semplice, che fu lanciata completamente assemblata; la lunghezza era di 16 metri per un diametro di 4 metri, un po' scomoda per l'equipaggio di tre persone. Seguirono nel tempo altre otto Salyut, sempre più perfezionate; le ultime avevano anche due portelli di attracco per i cambi di equipaggio e per i rifornimenti.



Gli Stati Uniti misero in orbita lo **Skylab** con oltre due anni di ritardo sui russi; in compenso il suo peso era circa 4 volte maggiore ed era lungo 35 metri. Anche lo Skylab era stato lanciato completamente assemblato e negli anni dal 1973 e 1974 ospitò tre equipaggi. Gli Stati Uniti sospesero qui il programma delle stazioni spaziali, sia per le difficoltà del bilancio statale che per il diminuito interesse dell'opinione pubblica per gli obiettivi spaziali.

I russi invece sull'esperienza della Salyut costruirono la prima stazione abitata permanente, la **Mir**, il cui nucleo centrale venne messo in orbita nel 1986. Seguirono altri cinque moduli che vennero lanciati ed assemblati successivamente. L'equipaggio era di tre uomini, che venivano periodicamente riforniti da una versione automatica del razzo Soyuz. Dal 1990 cominciarono le difficoltà nei rifornimenti, per le note traversie dell'Unione Sovietica, tanto che da allora la maggior parte dei materiali necessari furono portati dallo Shuttle; questa collaborazione si interruppe nel 1998; per altri tre anni la Mir ricevette visite da cosmonauti russi ed europei, finché ne fu decisa la fine nel marzo 2001.

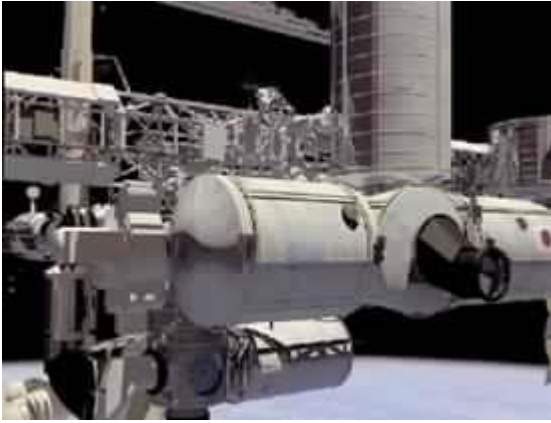
LA ISS (International Space Station)



Il Progetto della **Stazione Spaziale Internazionale** nacque nel 1994 dall'unificazione del progetto Freedom, iniziato dalla Nasa nel 1984, col progetto sovietico Mir 2. La costruzione cominciò nel 1998 con il lancio del primo modulo Zarya ("Alba" in russo); il primo equipaggio permanente, un americano e due russi, arrivò a bordo nel novembre 2000. La stazione viene via via ingrandita assemblando nuovi moduli; il piano di costruzione prevede almeno altri venti voli, fino al 2006. Attualmente una navicella Soyuz rimane attraccata alla Stazione Spaziale in modo permanente, come scialuppa di salvataggio

La ISS sarà la più grande e complessa costruzione mai realizzata in orbita terrestre, ben quattro volte più grande della MIR. Il suo completamento è ora previsto per il 2010 quando raggiungerà le dimensioni di 100x100 metri e sarà abitata permanentemente da un equipaggio multinazionale di 7 persone.

I campi di ricerca spazieranno dalla medicina ai materiali, dalla scienza fondamentale allo studio delle risorse terrestri; sarà un indispensabile passo nell'esplorazione spaziale umana. Alla costruzione partecipano 16 nazioni: Stati Uniti, Russia, Canada, Giappone, 11 nazioni dell'ESA (tra le quali l'Italia) e il Brasile. Inoltre l'Italia ha un accordo con gli USA per la fornitura dei 3 moduli logistici multifunzionali ("Leonardo", "Raffello" e "Donatello") costruiti dall'Alenia Spazio in cambio di ospitalità di astronauti italiani e di esperimenti a bordo della stazione.



Il modulo Columbus dell'ESA

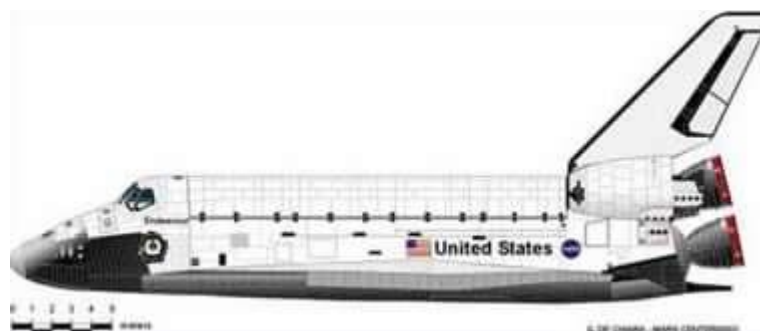
Attualmente la ISS,, che orbita a 400 km di altezza con un periodo di circa 90 minuti, è abbastanza grande da poter essere vista ad occhio nudo; con un normale binocolo è ben visibile la forma allungata.



9 - LE NAVETTE SPAZIALI

LO SHUTTLE

Con lo Shuttle (che significa spola, navetta) è stato realizzato un veicolo spaziale di un tipo diverso da quelli usati in precedenza. Infatti, mentre gli altri vettori andavano completamente perduti stadio dopo stadio, lo Shuttle è stato progettato per essere quasi completamente recuperato e riutilizzato; inoltre la nave spaziale vera e propria contenente l'equipaggio atterra su una pista aeronautica in modo simile ad un jet di linea; sono evidenti i risparmi in termini di costo.



Le parti componenti sono:

- Il veicolo orbitale, con la cabina dell'equipaggio e lo spazio per il carico; ha tre motori principali per il decollo e due motori più piccoli per le manovre orbitali; è anche fornito di ali ed impennaggi come un aereo tradizionale.
- Un grande serbatoio esterno, applicato sotto la fusoliera, che alimenta i tre motori principali con Ossigeno e Idrogeno liquidi.
- Due razzi a combustibile solido, applicati lateralmente, che forniscono la spinta aggiuntiva necessaria al decollo.

Tutto il complesso è alto 56 metri e pesa alla partenza 2.000 tonnellate; la navetta che rientra è lunga 37 metri e pesa 10 tonnellate; anche qui il 95% del peso iniziale è stato impiegato per dare la spinta necessaria. Al decollo da Cape Canaveral i due razzi a combustibile solido esauriscono la loro spinta in due minuti, si staccano all'altezza di 66 km e vengono recuperati in quanto scendono nell'oceano con dei paracadute. I motori principali, anch'essi accesi alla partenza, continuano a bruciare il propellente del serbatoio esterno per 8 minuti e mezzo; il serbatoio si stacca all'altezza di 109 km ed esplose rientrando nell'atmosfera; è l'unica parte a non essere recuperata.

Come si vede anche lo Shuttle usa la tecnica del multistadio: è diversa soltanto la disposizione degli stadi iniziali, che qui sono affiancati al veicolo spaziale anziché disposti sotto in verticale. Al termine della missione lo Shuttle, che è stato lanciato come un razzo, può rientrare a terra come un aereo: dopo aver usato i motori minori per rallentare l'orbita, il veicolo prende contatto con l'atmosfera che ne rallenta ulteriormente la velocità; il calore prodotto per attrito viene schermato e smaltito da un rivestimento di piastrelle di ceramica che coprono tutta la parte antero-inferiore. La prima navetta ad essere lanciata è stata la Columbia, nell'aprile 1981; ne seguirono poi altre quattro, Challenger, Discovery, Atlantis ed Endeavour. I principali compiti svolti sono stati: trasferimento di equipaggi tra Terra e stazioni spaziali; messa in orbita di satelliti e sonde spaziali; esperimenti in orbita terrestre in assenza di gravità.



Purtroppo la storia dello Shuttle è stata funestata da due gravi incidenti, entrambi con perdita dell'intero equipaggio.

Il primo avvenne nel gennaio 1986 con la missione n. 25: il Challenger esplose dopo circa 80 secondi dal lancio alla quota di 16 km, causando la morte dei sei membri dell'equipaggio e del primo civile a partecipare ad una missione spaziale, l'insegnante Christa McAuliffe la cui scolare era presente a Cape Canaveral per assistere al lancio. La causa dell'incidente venne individuata nella rottura di un anello di tenuta in gomma di uno dei due razzi laterali: il fuoco investì il debole serbatoio centrale che esplose. I lanci furono sospesi e le missioni ripresero soltanto nel settembre 1988 con la Discovery e continuarono fino alla missione n. 113 conclusasi nel gennaio 2003 con la perdita del Columbia.

In questo caso la tragedia si verificò durante la fase di frenata nell'atmosfera terrestre: infatti alcune piastrelle ceramiche erano state danneggiate alla partenza da una scheggia del rivestimento del serbatoio esterno; il calore prodotto dall'attrito con l'aria poté raggiungere le strutture metalliche che collassarono. Da allora i voli sono sospesi e potrebbero riprendere forse nel corso del 2005.

Per le future missioni si è deciso che l'Orbiter dovrà essere completamente controllato dall'esterno prima del rientro in atmosfera, operazione possibile soltanto dalla Stazione Spaziale Internazionale. La NASA ha anche annunciato che l'intera flotta di Space Shuttle verrà sostituita entro il 2010; sono in preparazione vari progetti per un veicolo più semplice e con maggiori sistemi di salvataggio per l'equipaggio. In entrambi i casi l'incidente ha avuto origine nella fase di lancio, quando viene scatenata una potenza enorme ed i materiali sono soggetti ad un forte stress termico e meccanico; per esempio si è calcolato che nel Saturn V ben il 5% della potenza dei motori venisse dissipato sotto forma di vibrazioni sonore. I progetti attuali sono orientati ad eliminare o ridurre questa fase traumatica facendo partire la navetta non come un razzo ma in modo simile ad un aereo, il cosiddetto spaziplano.

X43 - SPAZIOPLANO

Per lo spaziplano si sta sperimentando il propulsore ramjet, un motore senza parti mobili nel quale l'aria prelevata dall'atmosfera viene compressa non da una turbina ma dalla velocità di avanzamento del veicolo; questo permette di risparmiare il peso dell'ossigeno, che invece i razzi debbono portare con sé. Il progetto dell'X-33, un unico stadio che decolla e rientra su una normale pista, è stato abbandonato per insormontabili difficoltà tecniche, tanto è vero che non ha mai avuto un test di volo; attualmente la NASA sta lavorando al progetto X-43, del quale si sono collaudate delle versioni non pilotate.



A sinistra X-43 lascia il B52, a destra accensione del razzo Pegasus

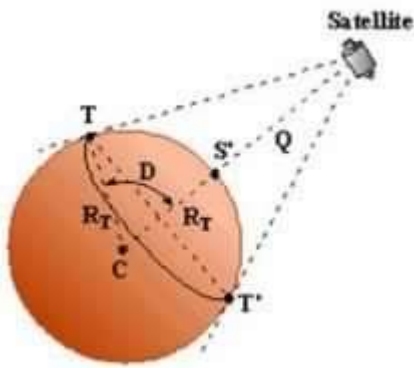
Nel novembre 2004 l'X-43 ha stabilito un eccezionale primato volando a Mach 9,8, 11.200 km/h ad una quota di oltre 36.000 metri. Appeso sotto l'ala di un B52 è stato portato alla quota di 13.000 metri da dove il primo stadio di un razzo Pegasus lo ha accelerato fino a Mach 4; l'X-43, liberatosi del razzo di spinta, ha poi continuato in propulsione scramjet (supersonic combustion ramjet) per il suo volo da primato. Si tratta ancora di un velivolo sperimentale, che viene perduto alla fine del test; per poter entrare in orbita dovrà integrare altri sistemi di propulsione.

10 - L'ASTRONAUTICA NELLA VITA ODIERNA

Nei pochi decenni trascorsi dai primi lanci sono stati messi in orbita migliaia di oggetti, lanciati in orbita per le più svariate esigenze. Il loro numero è diventato talmente elevato che è sorto il problema della cosiddetta spazzatura spaziale, costituita dalle migliaia di detriti, rottami ed oggetti sfuggiti al controllo. Questi corpi costituiscono un pericolo di collisione per i nuovi lanci, tanto che è allo studio un sistema di raccolta e si è resa necessaria l'attivazione di un organismo internazionale per l'osservazione del traffico spaziale e per la sua regolazione. Fra i satelliti che ruotano attorno alla Terra, accanto a quelli realizzati per scopi scientifici e militari (satelliti spia), vi sono quelli per le osservazioni dei movimenti della crosta terrestre e dell'inquinamento, quelli meteorologici, quelli per telecomunicazioni e quelli per la navigazione.



Nella nostra vita quotidiana sono ormai stabilmente inseriti, anche se non ce ne rendiamo conto, un certo numero di satelliti: basti pensare che le telefonate a grande distanza (e le connessioni via Internet) passano anche attraverso i satelliti per telecomunicazioni; le previsioni meteorologiche che quotidianamente riceviamo si basano sulle osservazioni compiute tramite i satelliti meteorologici; nelle auto di un certo livello è ormai comune vedere un apparecchio GPS, che sa sempre esattamente dove ci troviamo mediante i segnali ricevuti da tre satelliti; chi ha la TV con la parabola riceve le trasmissioni da un satellite che si trova sopra l'Equatore, un **satellite geostazionario**. È questo un satellite di tipo particolare, che merita un approfondimento.



Sappiamo che il periodo di rivoluzione dei satelliti aumenta con l'aumentare dell'altezza da Terra: è pertanto possibile individuare una altezza tale che il periodo sia esattamente di 24 ore. Se un satellite viene messo in questa orbita nello stesso senso di rotazione della Terra esso ruoterà in modo sincrono e, purché sia esattamente sopra l'equatore, apparirà sempre immobile nello stesso punto del cielo. Queste condizioni si verificano all'altezza di circa 36.000 km con una velocità di 11.000 km/ora. Un solo satellite può coprire quasi la metà della superficie terrestre, quindi con tre satelliti si riesce a coprirla per intero. Da notare che se i satelliti sono esattamente sopra l'Equatore essi resteranno sempre al di sotto dell'orizzonte rispetto ai due Poli

terrestri.

Interessanti per l'osservazione ad occhio nudo sono anche gli **Iridium**, una rete di satelliti per telecomunicazioni in orbita polare; ogni satellite ha tre grandi antenne piane per la gestione dei segnali. In certe occasioni, particolarmente prima dell'alba e dopo il tramonto, queste antenne possono riflettere verso terra i raggi del Sole causando un intenso lampo, che nelle migliori condizioni può raggiungere una luminosità 22 volte maggiore di quella di Venere.

IL TELESCOPIO SPAZIALE



Un satellite particolare, che interessa da vicino gli appassionati di astronomia, è il Telescopio spaziale Hubble (**HST - Hubble Space Telescope**). Il telescopio Hubble venne messo in orbita dallo Shuttle nell'aprile 1990; il complesso è alimentato da pannelli solari ed è lungo 13 metri; strumento ottico è un Ritchey-Chretien da 2,4 metri, f/24. Per ottenere la massima precisione nel puntamento il sistema è stabilizzato da 4 o 6 giroscopi e tramite sensori di guida puntati su una stella di riferimento.

Incredibilmente subito dopo il lancio si scoprì che lo specchio principale era affetto da aberrazione sferica (non si poteva controllare prima?); per fortuna questo difetto fu corretto in orbita dall'equipaggio di uno Shuttle inviato successivamente. Il telescopio ha fornito risultati di eccezionale importanza per l'astronomia: non essendo schermato dall'atmosfera terrestre ha esteso notevolmente il raggio d'azione dei telescopi terrestri; i non addetti ai lavori hanno apprezzato specialmente le bellissime immagini dell'universo mai viste fino ad allora.



Purtroppo il futuro non è roseo per l'Hubble: ai soliti problemi di bilancio si aggiunge il fatto che non c'è attualmente alcun mezzo a disposizione per le manutenzioni periodiche; infatti i futuri voli dello Shuttle, che dovranno passare dalla Stazione Spaziale per il controllo pre-attezzamento, non avranno la possibilità di avvicinarsi al telescopio.

COLLABORAZIONE INTERNAZIONALE

Oltre ai due stati principali, Russia e America, diversi altri sono man mano entrati nell'attività spaziale: nel 1975 è stata costituita l'ESA, Agenzia Spaziale Europea, che comprende 13 membri. Anche la Cina, il Giappone e l'India hanno i loro satelliti in orbita; la Cina in particolare, che ha già messo in orbita un astronauta, sta pensando ad una stazione spaziale con equipaggio fisso e ad inviare sulla Luna un veicolo automatico.



L'Italia, che è inserita nell'ESA, partecipa attivamente alle attività spaziali con l'ASI - Agenzia Spaziale Italiana. Sono stati forniti alla Stazione Spaziale i moduli Donatello, Raffaello e Leonardo, costruiti da Alenia Spazio. Altri istituti hanno contribuito alla soluzione di vari problemi e tra questi anche l'Università di Ancona. Italiani sono diversi astronauti che hanno già effettuato missioni spaziali negli ultimi anni. Nel 1992 Franco Malerba partecipò ad una missione Shuttle per esperimenti col satellite italiano Tethered. Si tratta di un'idea originale: Un satellite viene fatto alzare sopra lo Shuttle collegato ad un cavetto elettrico lungo fino a 20 chilometri (satellite al guinzaglio): a causa della veloce traslazione nel campo magnetico terrestre si forma, ai capi dello stesso, una tensione che può arrivare a 5.000 volt.; da questa tensione può essere ricavata energia elettrica praticamente gratis. Gli esperimenti sono stati conclusi con successo nel 1996 dall'altro italiano Maurizio Cheli



Altri astronauti hanno già partecipato a voli con lo Shuttle e la Soyuz, come Roberto Vittori e Umberto Guidoni; Paolo Nespoli è in addestramento. Nell'aprile 2002 Vittori ha partecipato alla missione Marco Polo per sostituire la Soyuz attraccata alla Stazione Spaziale come scialuppa di salvataggio. In quell'occasione Wind ha organizzato un scambio di messaggi SMS con lo spazio: ogni giorno un SMS veniva sorteggiato e trasmesso a Vittori, che rispondeva al mittente.

Nella foto a fianco Umberto Guidoni, Roberto Vittori e Paolo Nespoli



Satellite Iridium



Il telescopio Hubble



La partenza dell'Endeavour con Guidoni

11 - MISSIONI RECENTI

Recentemente sono state effettuate diverse interessanti missioni, quasi tutte dovute alla collaborazione internazionale:



MISSIONE ULYSSES

Progetto congiunto NASA-ESA fu lanciata nell'ottobre 1990 da uno Shuttle con lo scopo di studiare il Sole a tutte le latitudini. Sono previste manovre a effetto gravitazionale intorno a Giove e a Mercurio (gennaio 2008, ottobre 2008 e settembre 2009). Entrerà in orbita ellittica attorno a Mercurio (inizio: marzo 2011); circa 3 metri x3 e pesava al lancio circa 370 kg, di cui 55 di strumenti.



MISSIONE STARDUST (Polvere di stelle)

Partita nel febbraio 1999 si è avvicinata alla cometa Wild 2 nel gennaio 2004, raccogliendo dei campioni. Rientrerà sulla Terra nel gennaio 2006.



MISSIONE 2001 MARS ODISSEY

Studio del clima e della geologia di Marte e delle radiazioni potenzialmente pericolose per sbarchi futuri su Marte. Missione iniziata nell'aprile 2001. Dimensioni minori di 3 metri, massa al lancio 725 kg, di cui 348,7 kg di carburante e 44,5 kg di strumentazione



MISSIONE GENESIS

Questa sonda della NASA ha catturato e riportato a Terra dei campioni di particelle espulse dal Sole. Lanciata nell'agosto 2001 la sonda si è stabilizzata nella posizione di equilibrio Lagrange 1 ed ha raccolto le particelle solari fino al 2004. Poi nell'aprile 2004 ha ripreso la rotta verso la Terra, che ha raggiunto nel settembre dello stesso anno. Qui è stato sganciato il contenitore dei campioni, che per un guasto ai paracadute è precipitato nel deserto dello Utah. La polvere solare era stata catturata da fragili dischetti fatti di materiale purissimo (oro, diamante, silicio) dallo spessore di ostie. Dopo il timore della perdita totale si sono recuperati ancora intatti alcuni di questi dischetti, che attualmente sono allo studio. Gli scienziati della NASA hanno festeggiato in un ristorante: la missione Genesis non era finita nella polvere.

SPIRIT E OPPORTUNITY SU MARTE

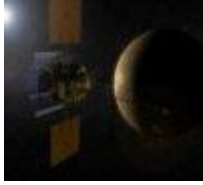


Spirit è sbarcato su Marte nel gennaio 2004, aiutato da paracadute ed airbag, E' stato seguito dal gemello Opportunity, che ha toccato il suolo dall'altra parte del pianeta. I due robot hanno inviato dati dai quali si deduce che il pianeta rosso tre-quattro miliardi di anni fa era un ambiente umido e per un certo periodo ha mantenuto le condizioni ideali per la vita. Nell'aria c'è ancora vapore acqueo e al mattino spesso Spirit era ricoperto di ghiaccio.



MISSIONE ROSETTA

Missione dell'ESA per studi sull'origine delle comete; lanciata nel marzo 2004 dal poligono di Kourou (Guyana Francese) effettuerà un incontro ravvicinato con la cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko quando questa si troverà vicino al Sole; qui verrà rilasciata la sonda Philae, che atterrerà sul nucleo nell'agosto 2015. Il nome deriva da quello della stele che ha fornito la chiave per decifrare i geroglifici egiziani.



MISSIONE MESSENGER

Sarà la prima sonda a entrare in orbita intorno a Mercurio. È stata lanciata nell'agosto 2004 ed entrerà in orbita attorno a Mercurio grazie ai rilanci gravitazionali della Terra (agosto 2005), di Venere (ottobre 2006 e giugno 2007) e di Mercurio stesso (gennaio 2008, ottobre 2008 e settembre 2009). L'orbita si stabilizzerà intorno a Mercurio nel marzo 2011, quando inizieranno le osservazioni scientifiche dirette; la sonda avrà uno scudo di ceramica come protezione dagli intensi raggi del Sole.



MISSIONE SMART 1

La sonda SMART-1 dell'ESA, lanciata dalla base di lancio europea di Kourou nella Guyana Francese, è entrata nell'orbita della Luna nel novembre del 2004. Il suo motore a ioni l'ha spinta in una lunga traiettoria a spirale verso la Luna, collaudando con successo nuove tecniche che permetteranno di giungere alla navigazione autonoma dei veicoli spaziali.

MISSIONE CASSINI - HUYGENS



Recentemente ha avuto gli onori della cronaca la missione Cassini-Huygens, frutto di una collaborazione NASA, ESA e Agenzia Spaziale Italiana. La sonda, alta 7 metri, porta i nomi di due scienziati del XVII secolo, l'astronomo italo-francese Gian Domenico Cassini, studioso di Saturno, e il fisico olandese Christiaan Huygens, che scoprì Titano e svelò la forma degli anelli di Saturno.

La Cassini, lanciata nell'ottobre 1997 per esplorare Saturno, è entrata in orbita intorno al pianeta nel luglio del 2004, grazie ai rilanci gravitazionali di Venere, Terra e Giove. Ha già trasmesso foto di Saturno e delle sue lune e il giorno di Natale ha lanciato il modulo Huygens verso la superficie di Titano. Questa sonda, a forma di scodella e del peso di 350 kilogrammi, è stata rallentata prima dall'attrito con l'atmosfera e poi dai paracadute. In seguito, espulso lo scudo termico, ha toccato il suolo illuminandolo con un faro: qui infatti la luce solare è appena un centesimo di quella che arriva sulla Terra.



Durante la discesa sono state prese numerose foto della superficie, composte poi in un mosaico, che è stato rielaborato in una visione realistica del panorama. Titano è uno dei corpi celesti più simili alla Terra: ha un diametro di quasi la metà di quello terrestre, ha un'atmosfera più densa con venti fino a 400 chilometri l'ora, ha massicci montuosi e valli. Però l'atmosfera è composta di

azoto e idrocarburi, che danno la colorazione rossastra; le valli sarebbero state scavate in passato da fiumi di metano, qui liquido dato che la temperatura è di 180° sotto zero; quelli che, fotografati da vicino, sembrano sassi sono probabilmente ghiaccio di idrocarburi, acqua e azoto. Attualmente la sonda Cassini continua a percorrere le 74 orbite intorno a Saturno previste fino al maggio del 2008; in questo periodo effettuerà molti altri passaggi in prossimità delle numerose lune del pianeta gigante.

LA CRONACA

L'astronautica trova sempre più spazio nella cronaca quotidiana, non soltanto per le missioni scientifiche ma anche per fatti di minore importanza.



Il 28 Aprile 2001 è ufficialmente iniziata l'Era del Turismo Spaziale, con il lancio in orbita del sig. Dennis Tito a bordo della navicella Soyuz, per un rendez-vous con la ISS (Stazione Spaziale Internazionale). Tito ha pagato all'Agenzia Spaziale Russa, tramite l'intermediazione della Space Adventures Corporation, 20 milioni di dollari, circa 45 miliardi di lire per un periodo di permanenza di 6 giorni a bordo della ISS. A seguito di questo lancio, la Space

Adventures Corporation ha proposto un programma di turismo spaziale a pagamento e sta registrando un'esplosione di prenotazioni provenienti da decine di persone in tutto il mondo. Nella missione Marco Polo partita dal cosmodromo di Baikonur nell'aprile 2002 era imbarcato sulla Soyuz, insieme al nostro Vittori, anche il "turista" Mark Shuttleworth, 28 anni, miliardario sudafricano, che ha sborsato circa 20 milioni di dollari per il passaggio. Shuttleworth è diventato ricco brevettando in giovanissima età sistemi di protezione delle reti Internet; nel corso della missione ha anche partecipato attivamente ad alcuni esperimenti scientifici: più che un turista, un apprendista astronauta.



Un passo importante per il futuro del turismo spaziale è stato compiuto con il volo della **Space Ship One** nel giugno del 2004. L'impresa è stata realizzata come iniziativa privata del miliardario americano Paul Allen, lo stesso che con Bill Gates fondò la Microsoft nel 1975. La navetta è decollata appesa sotto il jet White Knight (Cavaliere Bianco), che l'ha sganciata alla quota di 14.000 metri. Qui il motore a razzo, alla velocità di 4.000 chilometri l'ora, l'ha portata all'altezza di 103 chilometri, fuori dall'atmosfera, ma subito prima della quota da orbita. In seguito sia l'aereo che la navicella sono atterrati

separatamente su una normale pista. L'aereo è piuttosto strano, ha un aspetto fragile, ricorda un catamarano con le macchie di un dalmata, tuttavia l'impresa è perfettamente riuscita; ad Allen è costata 10 milioni di dollari, meno di quanto abbiano speso Tito e Shuttleworth per il solo passaggio: potrebbe essere questa la soluzione per smaltire le prenotazioni in lista di attesa.

12 - PROSPETTIVE FUTURE

MISSIONI FUTURE



PLUTO KUIPER EXPRESS

Inizialmente progettata per studiare Plutone, l'ultimo pianeta del sistema solare, ed il suo satellite Caronte è stata al momento cancellata dalla NASA per difficoltà di bilancio. È ora allo studio una nuova missione per epoca futura.



EXO MARS

L'ESA sta studiando una sonda in grado di atterrare su Marte, prelevarne dei campioni e ricondurli a Terra per essere analizzati in laboratorio. Lo scorso settembre 2003 sono cominciati gli accordi con due team industriali internazionali, uno guidato da Alenia Spazio (Italia), e l'altro con a capo EADS Astrium (Gran Bretagna). Ai team partecipano anche le italiane ELV e Galileo Avionica.



BEPI COLOMBO

Missione dell'ESA verso Mercurio, intitolata a Giuseppe Colombo, scienziato italiano dell'Università di Padova, deceduto nel 1984. È previsto per il 2012 il lancio di due moduli che dovranno orbitare intorno al pianeta, dove arriveranno in poco più di 4 anni grazie ad un motore a ioni ed alle accelerazioni gravitazionali di Luna, Venere e Mercurio stesso. La missione di rilevamento dati dovrebbe durare più di un anno. Era previsto un terzo modulo di atterraggio, che al momento è stato cancellato per mancanza di fondi.



PROGRAMMA AURORA

E' il piano a lungo termine dell'Agencia Spaziale Europea per l'esplorazione del Sistema Solare. Si ritiene che sia tecnicamente possibile lanciare una missione umana sulla Luna tra il 2020 e il 2025 e in seguito su Marte tra il 2030 e il 2035.

STAZIONI PLANETARIE

Ancora più lontana nel tempo appare la realizzazione di stazioni planetarie permanenti, che potrebbero essere realizzate sulla Luna e su Marte. L'acqua potrebbe essere ricavata dai depositi di ghiaccio che entrambi i corpi hanno nel suolo; l'ossigeno, che su Marte esiste in modesta quantità nell'atmosfera, dovrebbe essere estratto dai minerali. In prospettiva queste stazioni potrebbero facilitare le spedizioni spaziali a largo raggio grazie alla minore gravità superficiale rispetto a quella della Terra.

I PROPULSORI

Un passaggio obbligato per lo sviluppo dei viaggi interplanetari sarà la realizzazione di nuovi sistemi di propulsione, visto che gli attuali sono insoddisfacenti: per andare sulla Luna si sono impiegati quattro giorni ma per raggiungere Marte occorreranno quasi nove mesi; e Marte è soltanto il primo dei pianeti esterni.

LA VELA SOLARE



La vela solare, che non è stata ancora realizzata, sfrutta la radiazione solare per ricevere una spinta in modo simile alle vele nautiche spinte dal vento. La vela può essere fatta di un sottile foglio di plastica (Mylar) alluminizzato in superficie per renderlo riflettente al fine di aumentare la spinta fornita dai fotoni e dalle altre radiazioni. I livelli di spinta ottenibili (e quindi l'accelerazione) sono bassissimi e la rendono utilizzabile solo per missioni di lunghissima durata, dove ciò che conta non è arrivare in fretta, ma arrivare lontano. Il problema è come tenerla ripiegata alla partenza e farla aprire nel vuoto; si tratta comunque di un mezzo ausiliario da usare soltanto in certe particolari

condizioni. Il principio di vela solare fu applicato con grande successo al Mariner 10, lanciato verso Venere e Mercurio nel 1973; quando la sonda esaurì il propellente del sistema direzionale furono utilizzati i pannelli solari come superfici di una vela solare; in questo modo fu possibile effettuare i tre passaggi previsti presso Mercurio.

IL MOTORE A IONI



Il motore a ioni è già stato sperimentato nello spazio. Il propellente, per esempio gas xeno, viene ionizzato (cioè privato dei suoi elettroni) mediante una corrente ad alta tensione ed un campo elettromagnetico. A questo punto le particelle cariche vengono accelerate da un intenso campo elettrico fino a una velocità di 40 chilometri al secondo. L'energia elettrica necessaria è fornita dal Sole e viene trasformata in elettricità dai pannelli fotovoltaici. Il propellente non è usato come combustibile ma come massa da espellere in direzione contraria al moto, nel quadro della seconda legge di Newton sull'azione e reazione. Ricevendo energia dal Sole questo motore può fornire la spinta per

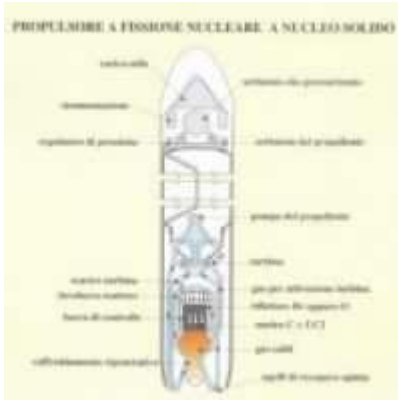
tempi molto lunghi almeno finché c'è propellente, però il suo uso è ovviamente limitato al sistema solare.

IL MOTORE NUCLEARE



Negli anni 60 la NASA iniziò il progetto NERVA (Motore nucleare applicato a veicoli a razzo) costruendo e sperimentando diversi prototipi nei quali un piccolo reattore nucleare riscaldava del gas idrogeno che veniva espulso ad alta velocità.

I prototipi dimostrarono la stabilità e la funzionalità del sistema; tuttavia il progetto venne abbandonato nel 1971 a causa di difficoltà tecniche, in particolar modo quelle connesse alla sicurezza dell'equipaggio ed all'inquinamento radioattivo.



Un nuovo tipo di motore nucleare è stato progettato dal fisico e premio Nobel Carlo Rubbia. Il motore si basa sulla fissione (frantumazione) dell'americio: è costituito da un cilindro sulla cui parete interna è depositato uno strato di americio spesso un micron, che emette i frammenti di fissione verso l'interno riscaldando un flusso di idrogeno che quindi sfugge ad altissima velocità generando così la spinta. Questo motore produrrebbe una spinta minore di quella dei razzi chimici però prolungata nel tempo; non sarebbe adatto alla messa in orbita bensì ai lunghi viaggi nei quali si potrebbe percorrere una traiettoria diretta anziché quelle gravitazionali: per esempio si arriverebbe su Marte in un mese e mezzo anziché nei nove mesi necessari se si segue l'orbita di Homan. Per questo progetto è stata contattata l'ESA,

ma ancora non è stata presa nessuna decisione operativa.

I motori a ioni e nucleari hanno in comune la capacità di generare una spinta più bassa di quella dei razzi chimici però mantenuta per lunghi periodi di tempo e con una più alta velocità di uscita dei gas. L'handicap della bassa spinta si supera utilizzando un primo stadio a propellente chimico per sollevarsi da terra. Vediamo invece perché sia importante l'alta velocità di scarico.



Tutti i sistemi propulsivi attualmente in uso o allo studio sono basati sulla terza legge di Newton sulla corrispondenza tra azione e reazione. Nel nostro caso l'astronave viene spinta in una direzione perché i gas di scarico vengono spinti nella direzione opposta; deve quindi esserci uguaglianza tra l'energia cinetica acquisita dal veicolo spaziale al termine dell'accelerazione e l'energia cinetica dei gas emessi. Poiché

l'energia cinetica è proporzionale alla massa per il quadrato della velocità è evidente che aumentando la velocità dei gas di scarico si può ridurre la loro massa ottenendo lo stesso effetto: il vantaggio sarà quello di avere un razzo più leggero fin dal momento della partenza. Tuttavia benché in questi motori il peso del carburante sia trascurabile, non si può assolutamente fare a meno del peso rilevante della materia da espellere per ottenere la spinta a reazione.

13 - VERSO LE STELLE

Fino ad oggi le esplorazioni spaziali si sono svolte entro il sistema solare; quali prospettive ci sono di poterne uscire e raggiungere le stelle? La risposta è pessimistica, perché esistono ostacoli per oggi insormontabili.



I cronisti ci dicono che il tale astronauta è **andato fra le stelle**: la frase è bella ma soltanto poetica. La stazione spaziale orbita all'altezza di 400 chilometri, un trentesimo del diametro della Terra. Se disegniamo in scala il globo e l'orbita vediamo che gli astronauti sono praticamente raso terra...

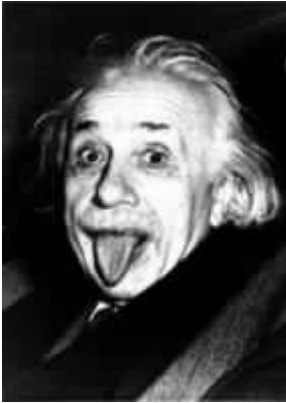
Ma l'uomo è andato molto più lontano, ha raggiunto la Luna! D'accordo; per raggiungere la Luna la luce impiega 1,3 secondi, ma per raggiungere Plutone, ai confini del sistema solare, impiega 5 ore e mezzo; per Alfa Centauri, la stella più vicina al Sole, impiegherebbe più di quattro anni e due mesi.

Disegniamo in scala la Terra e l'orbita della Luna: se facciamo uguale a un metro la distanza, il diametro della Terra sarà di 33 mm. e quello della Luna di 9 mm.; Plutone sarà alla distanza di 15 chilometri e mezzo e Alfa Centauri a 102.000 chilometri. Alfa Centauri è quasi 7.000 volte più lontana di Plutone; per raggiungerla nello stesso tempo impiegato dal Voyager (circa 15 anni) occorrerebbe una velocità 7.000 volte maggiore; poiché l'energia necessaria a muovere un'astronave (uguale all'Energia cinetica dell'astronave ad una data velocità - $F_s = \frac{1}{2} mv^2$) è proporzionale al quadrato della velocità, ne risulta che sarebbe necessaria un'energia 49 milioni di volte superiore a quella dei razzi attuali: una cosa inattuabile. Un motore a spinta continua come quello nucleare consentirebbe un viaggio a 40 Km/s ed oltre, ma per arrivare su Alpha Centauri occorrerebbero 30 mila anni; non parliamo poi della Galassia di Andromeda, la più vicina a noi, che è distante 2.300.000 anni luce.

Ma supponiamo di avere realizzato un nuovo sistema di propulsione con le enormi energie richieste; per esempio basato sull'antimateria. L'**antimateria** ha le stesse caratteristiche della materia ordinaria, però con le cariche elettriche invertite: quando viene a contatto con la materia si produce la conversione totale in energia con rendimenti enormemente più alti di quelli delle odierne reazioni nucleari. Attualmente si riesce a produrre quantità infinitesimali di antimateria soltanto nei grandi acceleratori nucleari e con grande dispendio di energia; inoltre sembrano insormontabili i problemi legati al suo contenimento in modo separato dalla materia ordinaria per poterla poi usare in modo controllato.

Supponiamo dunque di aver superato ogni difficoltà e di avere energia a sufficienza: quale sarà la massima velocità raggiungibile? Il limite è fissato dalla **Teoria della Relatività di Einstein**: la velocità della luce (indicata con c), che nel vuoto è di 300.000 km al secondo; potendo spostarsi al 99% di questa velocità il viaggio di andata e ritorno ad Alfa Centauri sembrerebbe poter durare poco più di 8 anni: ma ci sono altri problemi.

- **Accelerazione:** l'accelerazione da imprimere al razzo deve essere contenuta nei limiti sopportabili dall'organismo umano: i piloti di Formula 1 sono allenati a sopportare 4 G (gravità terrestre) nelle curve, ma per lunghi periodi non si dovrebbe superare 1 G per evitare disfunzioni scheletriche e circolatorie. Accelerando ad 1 G, cioè aumentando la velocità di 9,8 metri al secondo ogni secondo che passa, la velocità della luce sarebbe raggiunta dopo circa un anno e dopo aver percorso la distanza di mezzo anno luce; all'arrivo occorrerebbe decelerare per un altro anno, per cui la durata del viaggio si allungherebbe di un anno, due se consideriamo anche il ritorno.
- **Materia interstellare:** a velocità molto elevate anche una collisione con corpi minimi sarebbe distruttiva a causa dell'elevata energia cinetica in gioco; trascurando la probabilità di impattare un meteorite resta il fatto che a tali velocità anche la polvere cosmica sarebbe abrasiva mentre gli atomi di idrogeno verrebbero ionizzati e renderebbero radioattiva l'astronave arrostando i suoi occupanti. Bisognerebbe munirsi di schermature adeguate: un altro aumento di problemi e di peso.



Viaggiando a velocità prossime a quella della luce dobbiamo considerare anche gli effetti relativistici sulla massa e sul tempo: la **massa** aumenta con la velocità tendendo all'infinito; comunque anche viaggiando al 99% di c la massa aumenterebbe di sette volte; se la massa aumenta deve aumentare anche la spinta, il che richiede una maggior quantità di propellente che si tradurrà in un ulteriore aumento della massa alla partenza: un cane che si morde la coda. La soluzione potrebbe essere quella di prelevare il propellente durante il viaggio nello spazio interstellare dove, benché in minima quantità, la materia esiste. Un motore intergalattico aspirerebbe atomi di idrogeno e sottoponendoli a forti pressioni otterrebbe la fusione nucleare liberando enormi quantità di energia; per ora, tuttavia, la fusione nucleare non è stata ottenuta neppure sulla Terra, se non nelle bombe all'idrogeno.

A velocità relativistiche il **tempo** rallenta per chi è in movimento: questo sembra un vantaggio per gli astronauti, almeno su percorsi relativamente brevi; per esempio il viaggio di andata e ritorno ad Alfa Centauri al 99% di c potrebbe essere effettuato in un anno e mezzo secondo il tempo degli astronauti, mentre sulla Terra sarebbero passati circa dieci anni. Però per arrivare fino ad Andromeda e ritornare nella durata relativistica di 65 anni occorrerebbe viaggiare a c meno un decimiliardesimo, con un aumento di massa di oltre 70.000 volte; inoltre al ritorno l'equipaggio troverebbe una Terra invecchiata di 4.600.000 anni: chi ci sarebbe ad aspettarli?

I viaggi nello spazio profondo sembrano quindi preclusi, diciamo pure per colpa di Einstein. Ma la teoria di Einstein, che certamente non può essere messa in discussione, potrebbe essere una visione ristretta di un orizzonte più ampio, come si è già riscontrato per la teoria della gravitazione di Newton rispetto alla Relatività generale. In questo orizzonte più ampio potrebbe trovarsi qualche spiraglio verso le stelle. Diverse idee sono state avanzate non solo nei racconti di fantascienza ma anche in ambienti scientifici.

WORM HOLE



I worm-hole (gallerie di tarlo) sarebbero dei cunicoli spazio-temporali prodotti dalla singolarità di un **buco nero**; essi potrebbero collegare due universi paralleli o due regioni del nostro universo. Attraverso i worm-hole si potrebbe teoricamente raggiungere un'altra regione dello spazio tempo, spostarsi in un istante in luoghi lontanissimi, o addirittura (forse) viaggiare nel tempo. Dei worm-hole, che sono stati dedotti da una soluzione delle equazioni di campo della

relatività generale, non si è ancora avuto alcun riscontro nella realtà. Lo stesso Stephen Hawking affermando che un buco nero potrebbe fungere da cunicolo ha però precisato di ritenerlo sommamente improbabile.

PROPULSIONE A CURVATURA



Un'altra idea avanzata in via teorica alcuni anni fa si basa su una deformazione dello spazio tempo che dovrebbe essere creata intorno all'astronave dopo l'allontanamento dal corpo di partenza con mezzi convenzionali; a questo punto lo spazio verrebbe espanso dietro e accorciato davanti in modo che la distanza del punto da raggiungere venga drasticamente ridotta; questo permetterebbe viaggi apparentemente a velocità superiori a quella della luce pur senza violare i principi della relatività. È un po' come se lo spazio-tempo fosse in salita

all'indietro e in discesa in avanti: un'astronave cadrebbe continuamente in avanti nella depressione da essa stessa creata. Si tratta però di idee che hanno sollevato forti obiezioni. È vero che la deformazione dello spazio tempo è alla base della teoria del Big Bang e della sua parte che tratta del periodo inflazionario, ma tali forze cosmiche non sembrano alla nostra portata. Inoltre sarebbe matematicamente richiesta la presenza di un'enorme **massa a energia negativa**, che se pure teoricamente concepibile, non è mai stata riscontrata nella realtà.

TELETRASPORTO



L'idea di trasmettere a distanza un corpo mediante scansione dei suoi componenti (come se fosse un fax) incontra insormontabili ostacoli nel principio di indeterminazione di Heisenberg e comunque non potrebbe avvenire a velocità ultraluce. Negli ultimi anni è stata avanzata l'ipotesi di una specie di telepatia cosmica che dovrebbe unire oggetti una volta uniti e poi separatisi; grazie a questa presunta telepatia le proprietà di un oggetto potrebbero passare istantaneamente all'oggetto corrispondente in un altro punto dell'universo. Esperimenti sul **teletrasporto quantico** con particelle subatomiche sono stati effettuati nel 1997 dal gruppo di Anton Zeiliger, dell'Istituto di Fisica Sperimentale di Vienna; i risultati sono però soggetti ad interpretazioni contrastanti. Non si tratterebbe comunque di un vero teletrasporto e tanto meno applicabile ad oggetti strutturati, meno che mai ad organismi viventi.

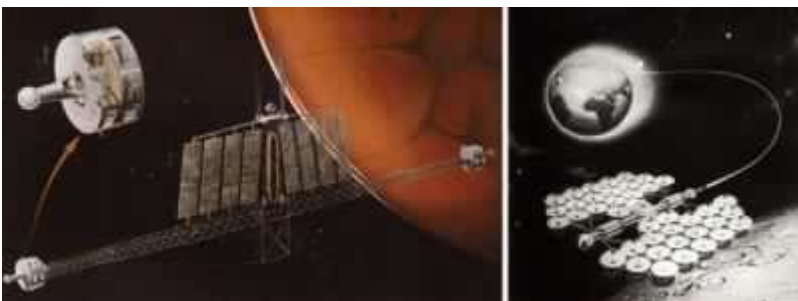
VIAGGI NEL TEMPO



Gli ipotetici viaggi a curvatura o attraverso i worm-hole potrebbero realizzare anche un'idea cara alla fantascienza, quella dei viaggi nel tempo. Una volta chiesi a Rustichelli se il tempo poteva andare all'indietro; infatti il professore ci aveva appena mostrato l'equazione della relatività ristretta secondo la quale il valore del tempo si ottiene estraendo una radice quadrata. Poiché la radice quadrata fornisce due valori, uno positivo ed uno negativo, dobbiamo dedurre che il tempo può andare in entrambe le direzioni? Dopo un attimo di riflessione la risposta fu: "Quello che la matematica permette non necessariamente deve verificarsi nella realtà, e finora non si è mai constatato che il tempo vada a rovescio".

ASTRONAVI GENERAZIONALI

Un'altra idea della fantascienza è quella delle astronavi generazionali: non potendo compiere i viaggi interstellari nel tempo di una vita umana si potrebbe costruire un'astronave contenente un'intera popolazione, della quale arriverebbero a destinazione non coloro che sono partiti ma i loro discendenti, dopo più generazioni. A parte le difficoltà di costruire quello che dovrebbe essere un mondo artificiale, un piccolo pianeta con sistemi di sopravvivenza autonomi, a me sembra che non si tratterebbe comunque di un viaggio, tutt'al più di un esodo.



14 - IL SOGNO DELL'UOMO

A questo punto viene spontaneo chiedersi: Riusciremo mai a muoverci a piacere nell'Universo?

Carlo Rubbia, ad un giornalista che gli chiedeva se esistesse la possibilità di viaggiare più veloci della luce, rispose: "Se c'è, né io né lei la vedremo mai! Allo stato attuale non ci sono fondazioni teoriche che possano permetterci di ipotizzare una cosa del genere." Comunque, come abbiamo visto, ci sono sempre uomini che progettano, sperano, sognano di poter esplorare l'universo di persona, perché come disse il padre dell'astronautica Kostantin Tsiolkovski **"La Terra è la culla dell'uomo, ma quale uomo vuole passare tutta la vita nella culla?"**

