

**Zeitschrift:** Rivista militare della Svizzera italiana  
**Herausgeber:** Lugano : Amministrazione RMSI  
**Band:** 85 (2013)  
**Heft:** 2

**Rubrik:** Equipaggiamento e armamento

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 02.05.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# I satelliti militari (1° parte)

ING. FAUSTO DE MARCHI

*Inizia in questo numero della nostra RMSI un articolo sui satelliti militari: esso è diviso in due parti.*

*Nella prima presentiamo una breve retrospettiva dei programmi spaziali dalla loro nascita fino ai giorni nostri, per poi proporre in modo semplice e pragmatico le leggi fondamentali della meccanica celeste che definiscono le orbite di satelliti. Indichiamo quindi i cosmodromi più importanti sparsi nel mondo, descriviamo i motori a razzo e i tipi più comuni di lanciatori usati per portare in orbita i satelliti, cataloghiamo questi ultimi secondo le loro funzioni e infine faremo alcune considerazioni sui costi dei programmi spaziali. Si tratta di una prima parte un po' teorica, un po' tecnica, un po' didattica ma fondamentale per meglio capire principi, possibilità e limiti dei satelliti artificiali.*

*Nella seconda parte (che apparirà nel No 3 della RMSI di quest'anno) tratteremo unicamente di satelliti militari, soprattutto quelli per la ricognizione terrestre, parleremo di prestazioni, cercheremo di valutarne vantaggi e svantaggi, indicheremo le tendenze per i prossimi anni e, per concludere, faremo alcune considerazioni sul ruolo che la Svizzera può assumere in questo contesto.*

## 1. Introduzione

I programmi spaziali con satelliti militari esistono da oltre cinquant'anni. Essi sono stati per molti anni (e lo sono in parte tuttora) una prerogativa delle grandi potenze. Per un piccolo Stato come la Svizzera essi rappresentano tutt'oggi qualcosa di affascinante, ma nello stesso tempo pure di sconosciuto per la maggioranza dei cittadini, anche perché spesso "dimenticato" dai mezzi massmediatici. Pensiamo, ad esempio, che saranno pochi i nostri concittadini consapevoli del fatto che la Svizzera è sorvolata periodicamente da una trentina di satelliti-spia, di varie nazionalità: satelliti in grado di raccogliere materiale fotografico del nostro territorio con una risoluzione inferiore a 1 metro.

L'articolo che presentiamo in questa sede mira a colmare un po' questa lacuna. Persegue cioè lo scopo di rendere più comprensibile un tema d'attualità, spesso trascurato e lasciato agli specialisti del ramo.

Tanti anni di ricerca, di sviluppi e di attività nello spazio hanno reso quest'ultimo un nuovo, vastissimo campo d'operazioni militari: gli anglosassoni le chiamano "Space Operations" abbreviandole in "Space Ops". I conflitti moderni ormai non si combattono più soltanto al suolo, sul mare o nei cieli, ma ugualmente nello spazio, anche se ci si limita a una guerra elettronica e d'informazione, senza far uso d'armi distruttive: ma potrebbe essere solo una questione di tempo. Un comandante che dispone d'informazioni satellitari in tempo reale ha notevoli vantaggi a livello di pianificazione e di condotta delle operazioni. Ad esempio ha la possibilità di scegliere i mezzi più idonei e la tempistica più adeguata per combattere il nemico. La "Space Ops" è inoltre "globale", cioè non conosce né confini né restrizioni, permette di raccogliere informazioni da zone anche molto distanti dalle linee di combattimento, non deve temere (per ora) contromisure da parte dell'avversario e, se necessario, utilizza programmi spaziali civili, pure in grado spesso di soddisfare le esigenze operative.

## 2. Denominazione e numerazione

Esiste, nella nostra lingua, una certa confusione nella terminologia riguardante i veicoli spaziali. A scanso di equivoci useremo in questo articolo i seguenti termini (vedi anche figura 1).

*Lanciatore o vettore*

È il veicolo completo che permette di trasportare nello spazio un certo carico utile. Corrisponde alla configurazione iniziale del mezzo, cioè al momento del decollo.

*Stadio*

È quella parte del veicolo che permette al carico utile di percorrere un segmento di traiettoria durante il volo ascensionale tra la terra

e l'orbita. Un lanciatore è composto di uno o più stadi, in generale fino a un massimo di 4. Molte volte uno stadio esausto viene subito sganciato dal resto del vettore perché divenuto un peso morto non più utilizzabile.

### Razzo o endoreattore

È quel tipo di motore particolare capace di generare una forza assiale e quindi di dare un'accelerazione a un determinato carico. Il razzo è in grado di sollevare e spingere verso l'alto uno stadio come pure di spostare o ruotare il carico utile nello spazio. Uno stadio è composto di uno o più razzi (vedi la figura 1 con il lanciatore americano Delta-2).

### Carico utile

È la parte che contiene una strumentazione scientifica, collocata nella parte culminante a ogiva del vettore e che, una volta liberata e attivata nello spazio, permette d'ottenere le informazioni desiderate. Le informazioni devono essere tuttavia trasmesse dallo spazio a una stazione terrestre. In questo articolo il carico utile è sempre un satellite artificiale, senza equipaggio: ma sono pure considerati carichi utili anche sonde, piattaforme e altri veicoli spaziali.

### Orbita

È la traiettoria percorsa dal carico utile nello spazio. In questo articolo l'unica orbita presa in considerazione è quella ellittica terrestre, cioè una rotazione periodica attorno al nostro pianeta percorrendo una traiettoria a forma d'ellisse. Ve ne sono ovviamente molte altre, da quelle "aperte" che lasciano la terra senza farvi più ritorno a quelle che entrano in orbite attorno ad altri pianeti o al sole: tutte orbite non contemplate in questo scritto.

La stampa specializzata, ma spesso anche quella a grande tiratura, utilizza da anni una particolare numerazione per identificare satelliti, sonde e altri oggetti in maniera sicura e univoca. Questa numerazione, adottata in campo internazionale, è conosciuta come l'identificatore COSPAR, dal nome di un Comitato per la ricerca spaziale. A questi oggetti spaziali, oltre al nome dato dal suo costruttore, si aggiunge l'anno in cui è stato lanciato nello spazio, un numero crescente degli oggetti messi in orbita nell'anno in corso da gennaio, seguito infine da una lettera "A", "B", "C" ecc. che sta a indicare se si tratta di un primo carico utile o piattaforma messa in orbita (A) oppure di un secondo carico utile (B), oppure ancora dell'ultimo stadio del vettore ecc. Ad esempio i tre satelliti russi Cosmos, messi in orbita nel 2007 con un unico lanciatore nell'ambito del programma GLONASS (il sistema di navigazione satellitare russo, simile al GPS statunitense), per l'identificatore COSPAR portano le sigle "Cosmos 2007-065A", "2007-065B", "2007-065C". Ciò sta a indicare l'anno del suo lancio (2007), come il 65. esimo lancio in quell'anno e che si tratta di tre identici satelliti (A, B, C). Altro esempio: il primo satellite artificiale messo in orbita dall'ex Unione Sovietica porta ovviamente il numero d'identificazione COSPAR "Sputnik 1957-001A".

Esiste un secondo tipo di numerazione, introdotto dagli Stati Uniti, ma che non useremo in questo articolo: utilizzeremo solo la numerazione COSPAR nei prossimi capitoli dell'articolo.

### 3. Una breve retrospettiva

I programmi spaziali hanno una data di nascita ben precisa: il 4 ottobre 1957, giorno della messa in orbita del primo satellite artificiale, lo Sputnik-1, da parte dell'Unione Sovietica. Nei successivi tre o quattro anni fu l'Unione Sovietica a stupire il mondo con attività spaziali sempre più spettacolari: basti pensare al volo del primo astronauta Yuri Gagarin, che, il 12 aprile 1961, orbitò attorno alla terra per 112 minuti.

In seguito si assistette a una gara per il predominio dello spazio tra le due superpotenze di allora, l'USA e l'USSR. All'inizio fu una competizione più per guadagnare prestigio e riconoscimenti internazionali che non per acquisire conoscenze scientifiche o vantaggi strategici. Ricordiamo alcune missioni coronate da successo degli ultimi decenni del secolo scorso dopo il volo di Gagarin del 1961, vere pietre miliari nella corsa allo spazio.

- Febbraio 1962: John Glenn è il primo astronauta americano a orbitare, per una sola volta, attorno alla terra.
- Luglio 1963: la NASA mette per la prima volta in un'orbita geosincrona un satellite per le telecomunicazioni denominato "Syncom-2 1963-031A"

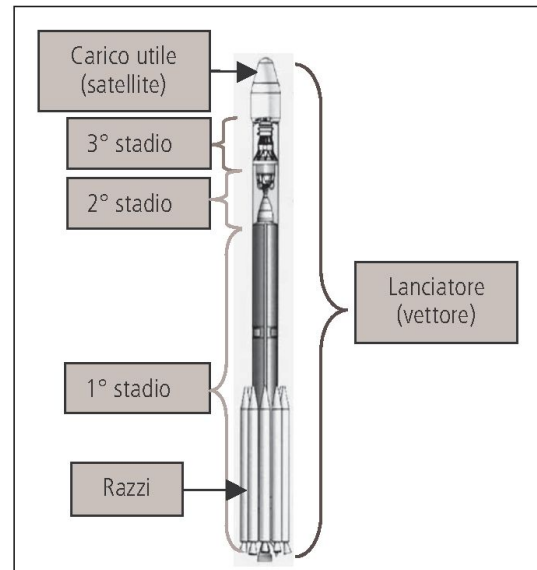


Figura 1: le parti di un lanciatore

- Marzo 1965: l'astronauta russo Alexei Leonov, a bordo della piattaforma Voskhod-2, esegue per la prima volta una "passeggiata" nello spazio dalla durata di 12 minuti.
- Marzo 1966: la NASA esegue il primo aggancio in orbita tra due oggetti spaziali. La capsula Gemini 8, con l'astronauta Neil Armstrong ai comandi, si aggancia al veicolo spaziale senza equipaggio Agena.
- Luglio 1969: i due astronauti Neil Armstrong e Edwin Aldrin, durante la missione Apollo 11, mettono piede per primi sulla luna.
- Marzo 1972: inizio delle missioni interplanetarie Pioneer per l'esplorazione dei pianeti del sole Giove, Saturno e Venere.
- Aprile 1981: inizio delle attività con le navette spaziali Space Shuttle della NASA.
- Novembre 2000: la Stazione Spaziale Internazionale ISS per la ricerca scientifica, la cui costruzione ebbe inizio nel 1998, è occupata dai primi astronauti di varie nazionalità.
- Luglio 2011: la navetta spaziale Atlantis atterra per l'ultima volta al Kennedy Space Center dopo aver eseguito, in quasi 30 anni, 135 missioni, di cui 133 con successo. Il programma Space Shuttle della NASA termina con questa missione.

I programmi spaziali militari hanno seguito di pari passo quelli civili, sin dagli albori. Già nel 1959 si potevano contare 9 satelliti militari in orbita, tutti lanciati dagli Stati Uniti. Figura 2 mostra l'andamento annuale dei satelliti militari messi in orbita nel periodo 1957 – 2009, suddivisi per nazioni: USA, Russia e altri (Cina, Europa, India ecc).

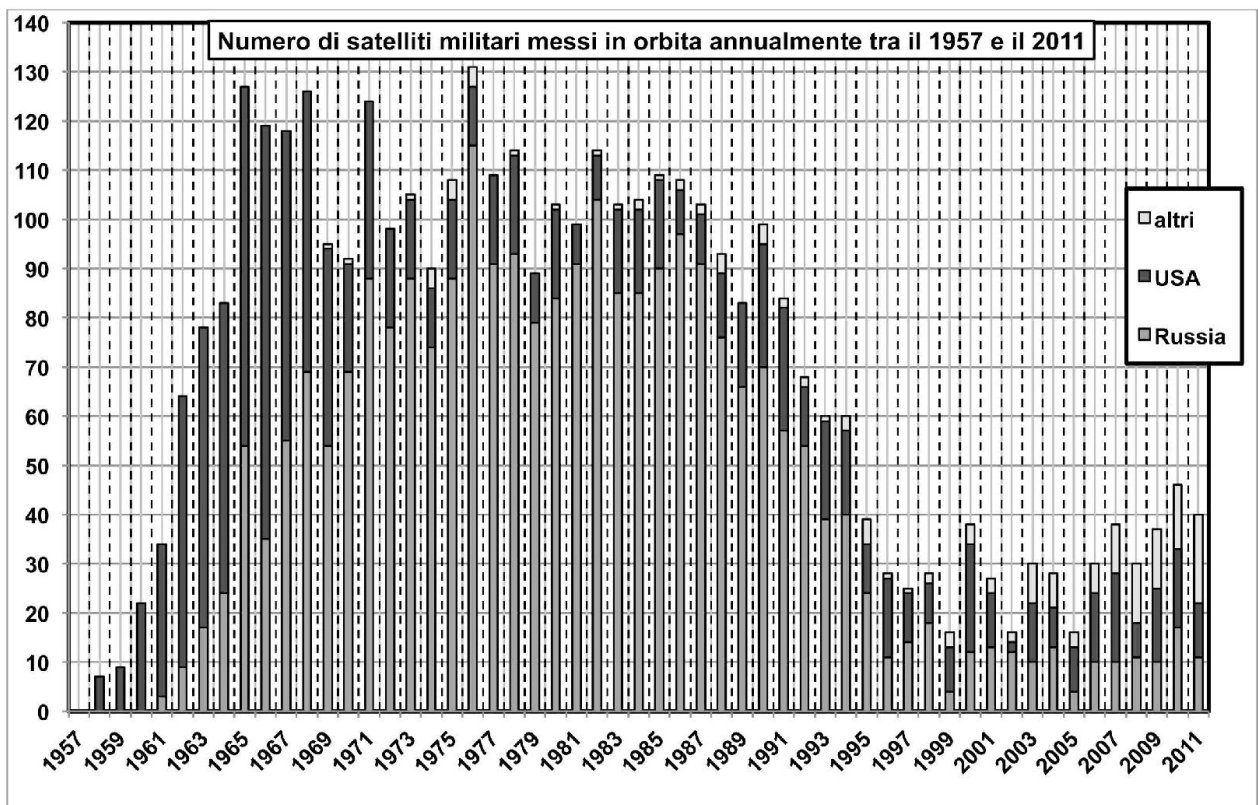


Figura 2: distribuzione del numero di satelliti militari (1957 – 2009)

Si tratta di lanci "riusciti" con il carico utile che raggiunse lo spazio: ma non tutti funzionarono come previsto o non divennero mai operativi. Complessivamente, in questi 55 anni, furono lanciati con successo 3'844 satelliti militari, il 66% dalla Russia, il 30% dagli USA e il rimanente 4% da altre nazioni. La figura 2 mostra un rapido incremento iniziale dei lanci fino al 1965 circa, seguita da una fase intermedia tra 1965 e il 1990. In questa seconda fase vi fu un elevato numero di lanci, oltre 100 l'anno (quindi mediamente uno ogni tre giorni) con una netta predominanza dei satelliti russi (vedi ad esempio l'anno 1976 con 115 satelliti russi, 12 USA e 4 cinesi). Dopo l'anno 1990 si assistette a una drastica diminuzione dei lanci. Oggi ci si è attestati tra i 25 e 40 lanci all'anno circa. Questa diminuzione dopo il 1990 coincide con la caduta del muro di Berlino e la fine della guerra fredda, quindi è correlata a una ragione tipicamente politica. Tuttavia vi è pure una spiegazione tecnologica. L'affidabilità e la durata di vita operativa dei satelliti si stavano allungando notevolmente rendendo superflua la loro sostituzione, come invece accadeva negli anni precedenti. Quarant'anni fa un satellite militare aveva una "speranza di vita" di 2 o 3 anni, oggi si superano facilmente i dieci anni. Il diagramma mostra inoltre come, a partire dall'anno 2000, altri paesi come Francia, Germania, Italia, India, Giappone, Israele e soprattutto Cina, abbiano insieme

raggiunto un livello d'attività spaziali paragonabile a quelle della USA e della Russia. Va infine rilevato che quasi la totalità dei satelliti militari e civili messi in orbita è il frutto di organizzazioni statali, sviluppati da industrie private ma finanziati con soldi pubblici. Missioni spaziali finanziate da enti privati sono rimaste un'eccezione. Soltanto il 21 giugno 2004 fu messa in orbita una navetta spaziale, lo SpaceShipOne, interamente sviluppata e finanziata da alcune organizzazioni non-statali.

I satelliti militari si possono suddividere in tre categorie.

- a) Applicazione. Sono satelliti – spia per l'acquisizione d'informazioni sull'avversario, in primis satelliti per la ricognizione e per la sorveglianza permanente del territorio nemico.
- b) Servizio. Sono satelliti sussidiari che assecondano i comandanti degli eserciti con servizi speciali d'appoggio, tipicamente satelliti per le telecomunicazioni e meteorologici.
- c) Tecnologia. Sono satelliti di ricerca, sperimentali, molte volte da ricollegare a nuovi sistemi per la difesa dallo spazio.

Al punto 9. ritorneremo più dettagliatamente sulle classificazioni dei satelliti militari.

### 4. Le leggi fondamentali della meccanica celeste

Le leggi che governano il movimento di satelliti (ma anche di pianeti e altri oggetti) ruotanti attorno alla terra furono formulate da due grandi fisici del passato: Giovanni Keplero (1571 – 1630) e Isaac Newton (1643 – 1727). Keplero annunciò tre leggi fondamentali della meccanica celeste: la prima legge enuncia che un corpo ruotante attorno a un altro percorre una traiettoria ellittica. Ciò vale per il moto dei pianeti ruotanti attorno al sole ma anche per un oggetto qualsiasi ruotante attorno al nostro pianeta: in questo caso la terra si trova in uno dei due fuochi dell'ellisse. Newton determinò invece la velocità di movimento del corpo ruotante a ogni istante del suo moto formulando una relazione, semplice ma precisa, che evidenzia il rapporto tra velocità dell'oggetto e distanza dalla terra. Tanto più vicino si trova l'oggetto dalla terra tanto più alta è la sua velocità: inversamente a distanze più elevate corrispondono velocità minori. Un satellite che ruota a 200 (km) dalla terra si muove a 28'800 chilometri orari, se si trova a 36'000 (km) di distanza si sposta a una velocità inferiore, di "soli" 10'800 (km/h).

Combinando la legge di Keplero con quella di Newton si ottengono i parametri principali che descrivono le orbite dei satelliti terrestri, come mostra lo schizzo della figura 3.

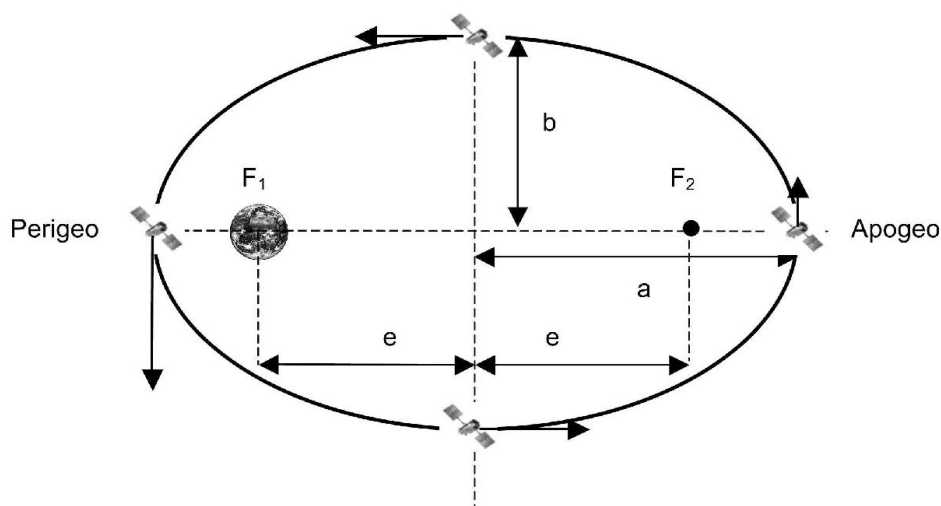


Figura 3: orbita ellittica di un satellite ruotante attorno alla terra

$F_1, F_2$  = Fuochi dell'ellisse (la terra si trova in uno di questi due punti)

$a$  = Semiasse maggiore

$b$  = Semiasse minore

$e$  = Eccentricità dell'ellisse

Nel caso particolare  $e = 0$  l'ellisse si riduce a un cerchio, per cui  $a = b =$  raggio del cerchio.

Una gran parte dei satelliti che orbitano attorno alla terra presentano deboli eccentricità: in altre parole le loro orbite ellittiche si avvicinano a quelle circolari. Tuttavia orbite perfettamente circolari in pratica non esistono. Ad esempio quasi tutti i satelliti per il telerilevamento terrestre girano attorno al nostro pianeta su orbite ellittiche basse, tra i 300 e i 400 (km) d'altezza: la differenza tra una di queste orbite ellittiche e una circolare è dell'ordine di soli 20 – 30 (km).

I punti di maggior interesse di un'orbita ellittica sono due: il perigeo, cioè il punto più vicino alla terra nel quale il satellite raggiunge la sua velocità massima, e l'apogeo, cioè il punto più distante con la velocità minima.

Due altri parametri caratterizzano le orbite dei satelliti: il periodo, cioè la durata di una rivoluzione completa attorno alla terra, e l'inclinazione, cioè l'angolo tra il piano che contiene l'orbita e il piano equatoriale della terra (vedi i due esempi della figura 4).

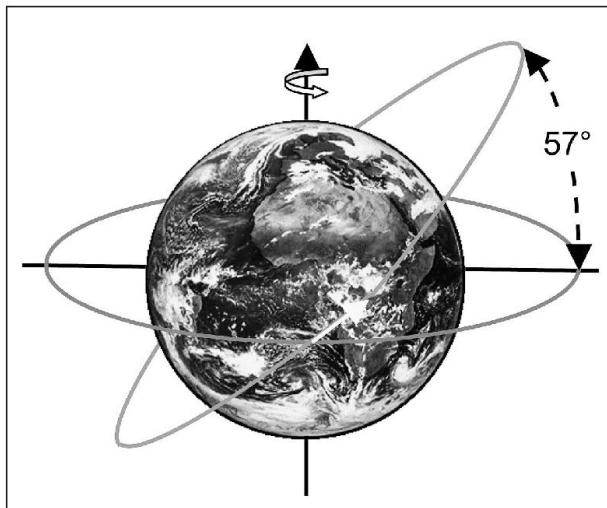


Figura 4a: Orbita del satellite ricognitore Lacrosse-5 (2005-016A, USA)

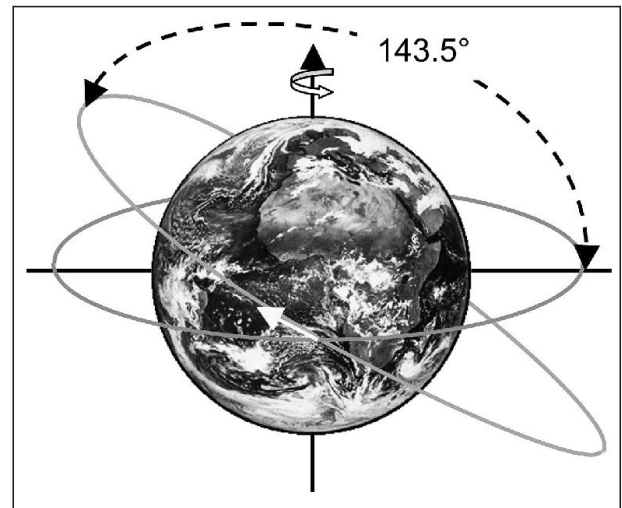


Figura 4b: Orbita del satellite ricognitore Ofeq-5 (2002-025A, Israele)

La scelta dell'angolo d'inclinazione è di capitale importanza per tutti i satelliti militari. Ad esempio il satellite israeliano Ofeq-5 (figura 4b) sorvola solo quei territori compresi in una fascia di  $+36.5^\circ$  ( $= 180^\circ - 143.5^\circ$ ) di latitudine nord e di  $-36.5^\circ$  a sud dell'equatore. La Svizzera può essere sorvolata soltanto da satelliti artificiali con angoli d'inclinazione superiore a  $48^\circ$ , il valore della latitudine del nostro paese. Ad esempio la Stazione Spaziale Internazionale sorvola il nostro paese perché l'angolo d'inclinazione è di  $51.6^\circ$ , non così il telescopio spaziale Hubble con  $30^\circ$ .

## 5. Le orbite

I tre parametri di un'orbita satellitare, l'altezza dalla terra (nel perigeo), l'eccentricità dell'ellisse e l'angolo d'inclinazione, definiscono pienamente l'orbita stessa. La scelta dell'orbita satellitare è strettamente legata agli scopi della missione prevista.

Se si desidera, ad esempio, eseguire delle ricognizioni sistematiche di obiettivi in un determinato territorio, usando sensori ottici e/o camere termiche, si sceglieranno:

- un angolo d'inclinazione tale da sorvolare gli obiettivi prescelti possibilmente sulla verticale (si parla di una posizione nadir rispetto all'obiettivo al suolo),
- un'orbita bassa in modo d'ottenere immagini nitide e dettagliate degli obiettivi e poter osservare anche piccoli oggetti,
- una bassa eccentricità in modo d'ottenere orbite quasi circolari, quindi con periodi minimi ciò che permette un numero elevato di sorvoli giornalieri sopra gli obiettivi.

Invece, per un satellite delle telecomunicazioni, una grande distanza e una bassa velocità rispetto alla terra rappresentano un vantaggio, poiché in questo modo si raggiungono vaste aree del globo e il tempo di permanenza sopra i territori interessati si allunga, a tutto vantaggio della disponibilità dei segnali utili.

Le orbite di satelliti attorno alla terra si suddividono in quattro categorie:

- Orbite basse, chiamate anche LEO (acronimo di Low Earth Orbit)
- Orbite medie, o MEO (Medium Earth Orbit)

- Orbite alte, o HEO (High Elliptical Orbit)
- Orbite geostazionarie, o GEO (Geostationary Earth Orbit).

Esistono inoltre tre sottoclassi delle precedenti quattro categorie e cioè:

- Orbite sincrone con il sole, chiamate SSO (Sun Synchronous Orbit),
- Orbite polari, o PEO (Polar Earth Orbit), e infine
- Orbite di trasferimento geostazionarie, o GTO (Geostationary Transfer Orbit).

Satelliti militari si trovano un po' in tutte le categorie di orbite, ma in modo particolare nella prima (orbite basse o LEO). Qui di seguito indichiamo le particolarità salienti di queste orbite.

### 5.1 Orbite basse (LEO)

Sono quelle debolmente ellittiche con altezze comprese tra 200 e 1'500 (km) dalla terra. Le velocità massime si aggirano sui 7 – 8 (km/s), il periodo tra 90 e 120 minuti. In questa categoria troviamo gran parte dei satelliti militari di ricognizione, quelli civili per il telerilevamento del nostro pianeta e quelli meteorologici. Negli ultimi anni, in questa categoria, sono aumentati pure i satelliti di comunicazione; ma a causa delle orbite basse, e quindi di una copertura limitata del territorio, si devono mettere in orbita una vera costellazione di satelliti per le comunicazioni (almeno una ventina) per poter raggiungere ogni angolo del pianeta.

La tabella sottostante mostra alcuni tipici satelliti in questa categoria LEO.

Altezza (km)	Velocità (m/s)	Periodo (h:min)	Satellite (esempio)
200 – 300	7'750	1:29	Cosmos - Yantar (Russia), militare (ricognizione ottica)
500 – 600	7'600	1.35	SAR Lupe (Germania), militare (ricognizione radar SAR)
800 – 1'000	7'400	1:43	Landsat (USA), SPOT (Francia), civile (meteorologico)
1'000 – 1'500	7'200	1:50	NOSS (USA), militare (Intelligence elettronica ELINT)

Figura 5 mostra le tracce al suolo del satellite russo Cosmos 2399 Orlets-1/Yantar (2003-035A) durante una giornata. Il satellite ruota in un'orbita bassa con il perigeo a 205 (km) e l'apogeo a 326 (km) e compie ogni giorno 17 rivoluzioni attorno alla terra.

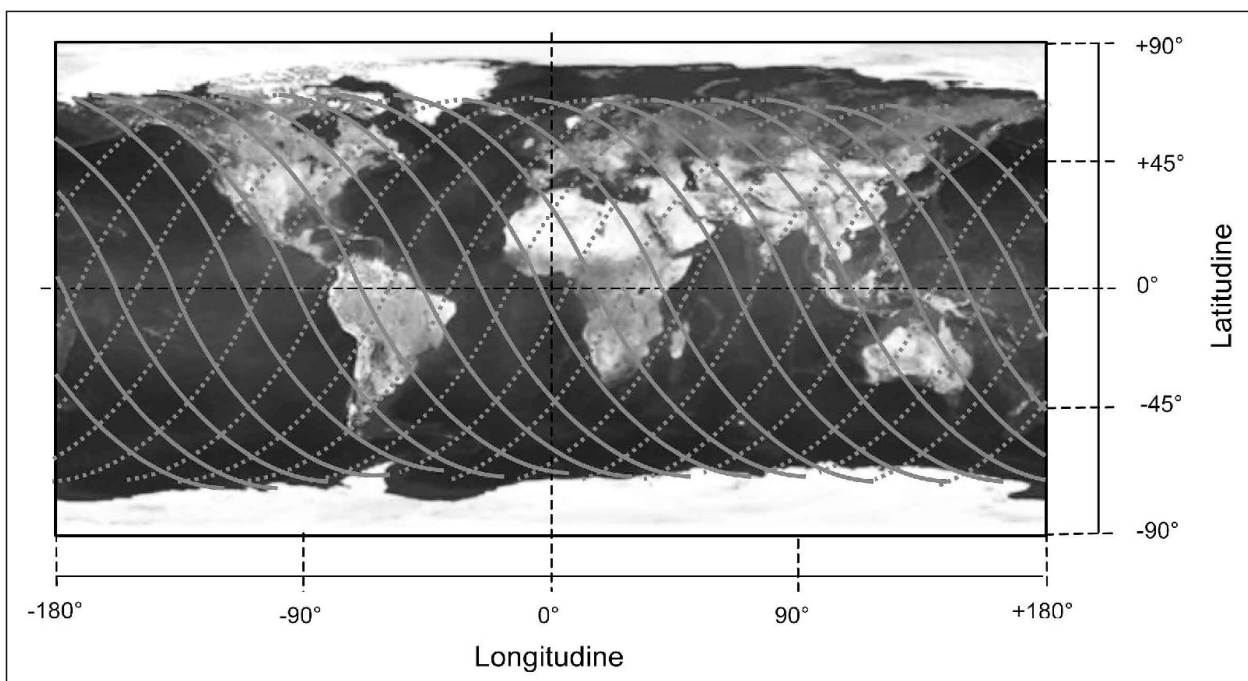


Figura 5: tracce al suolo del satellite russo Cosmos 2399

Si noti che l'inclinazione rispetto al piano equatoriale è di 65°, per cui territori con una latitudine superiore a questo valore, sia nell'emisfero boreale sia in quello australe, non sono sorvolati dal satellite.

Il problema più grave dei satelliti in orbite basse LEO è costituito dalla costante perdita di velocità, soprattutto al passaggio del perigeo. Queste "frenate" periodiche sono causate dall'attrito dell'atmosfera sul satellite, anche se l'aria a quelle altezze è estremamente rarefatta: non vi è però il vuoto assoluto. Inoltre questa, pur debolissima, densità dell'aria cresce con l'aumento delle attività solari, ciò che rende la perdita di velocità dei satelliti imprevedibile. L'unico modo per contrastare il fenomeno è l'accensione di razzi, di tanto in tanto, per accelerare il satellite e riportare la velocità sui valori nominali e sull'orbita originale, ammesso che si disponga di sufficienti riserve di propellente. Se non si eseguono queste manovre correttive, un satellite in orbite basse è destinato a ricadere nell'atmosfera disintegrandosi. Si calcola che un satellite di media grandezza su un'orbita bassa a 150 (km) d'altezza, senza manovre correttive, è destinato a ricadere sulla terra dopo un solo giorno, a 200 (km) d'altezza dopo una settimana, a 400 (km) dopo due anni e a 600 (km) dopo un decennio. Una perdita di velocità al perigeo si traduce sempre in una perdita ancora più marcata d'altezza all'apogeo e di conseguenza a una diminuzione evidente del periodo di rivoluzione. La figura 6 mostra gli effetti causati dalla perdita di velocità su un satellite statunitense in orbita LEO. Sulla sinistra si notano le perdite di quota all'apogeo e sulla destra la diminuzione del periodo di rotazione: ben visibili sono pure gli effetti delle continue manovre correttive. Si tratta del satellite statunitense di ricognizione KH-11-3 (1996-072A) messo in un'orbita bassa, molto ellittica, il 20 dicembre 1996, con un perigeo a 300 (km) d'altezza e un apogeo a 1'025 (km), il periodo era di 97 min. 30 sec. In cinque anni, tra il 1997 e il 2002, si sono dovute eseguire sei manovre correttive per mantenere il satellite nell'orbita voluta e alla velocità desiderata.

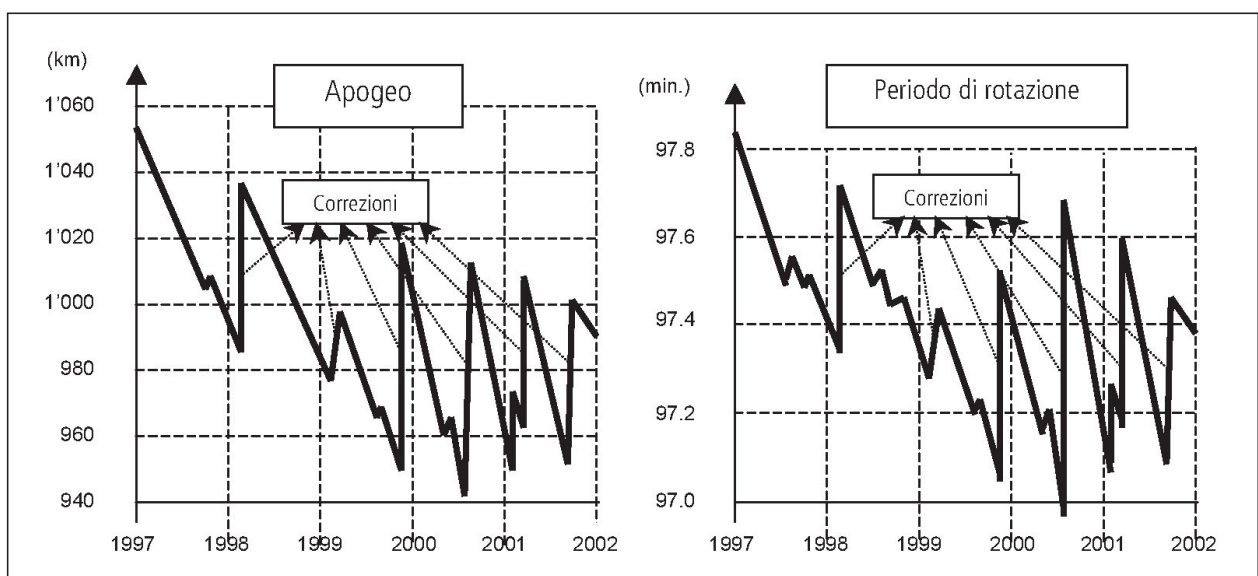


Figura 6: satellite militare KH-31-3 (Stati Uniti). Variazioni dell'apogeo e del periodo misurati tra il 1997 e il 2002

### 5.2 Orbite sincrone con il sole (SSO)

Si tratta di orbite molto particolari, una sottocategoria di quelle basse. Esse presentano un'inclinazione un po' oltre i 90°, per lo più tra i 97° e i 99°. I parametri dell'orbita sono scelti in modo tale che il satellite, a ogni giro, rimane sempre un po' in "ritardo" rispetto alla rotazione della terra, per poi compensare completamente questo ritardo a ogni giro, spostando l'orbita del satellite di circa un grado verso oriente. In altre parole, calibrando a dovere i parametri dell'ellisse, il satellite sorvolerà il territorio sottostante sempre alla stessa ora locale, quindi sempre con la stessa inclinazione rispetto ai raggi del sole: da qui il nome di orbita sincrona con il sole. Fotografando oggetti sottostanti si otterranno immagini in tempi diversi ma con le stesse condizioni d'illuminazione, ciò che facilita il confronto tra fotografie scattate in tempi successivi. Inoltre, poiché l'orbita è "quasi polare" (PEO), questi satelliti sorvolano in pratica tutti i territori del globo, dal polo nord al polo sud. Il doppio effetto (fotografie con le stesse condizioni d'illuminazione e totalità dei territori sorvolati) ha evidentemente accresciuto l'interesse militare per questi satelliti posti in orbite sincrone con il sole.

### 5.3 Orbite medie (MEO)

Sono orbite oltre i 1'500 fino a 30'000 (km) d'altezza, quasi circolari o leggermente ellittiche, con inclinazioni rispetto all'equatore tra i 35° e gli 80°. A causa delle notevoli altezze hanno tutte dei periodi di rivoluzione abbastanza lunghi, tra le 2 e le 12 ore. I rappresentanti principali di questa categoria sono i satelliti per la navigazione spaziale: quindi per gli Stati Uniti la ben nota costellazione di satelliti GPS (Global Positioning System), per la Russia quella chiamata GLONASS (Global Navigation System). Fra

qualche anno sarà operativa anche la costellazione di satelliti europei denominata GALILEO. La figura 7 mostra la costellazione dei GPS, in un'immagine artistica. Il GPS è costituito da 31 satelliti (chiamati NAVSTAR) su orbite quasi circolari e su 6 diversi piani orbitali a una distanza dalla terra di 26'560 (km). Il numero minimo di satelliti per coprire l'intero globo è 24, i rimanenti 7 sono di "riserva". Per determinare la posizione di un utente al suolo, munito di ricevitore GPS, è necessario e sufficiente che abbia un collegamento diretto con 4 satelliti NAVSTAR: in generale, se si è in ambiente aperto e senza grossi ostacoli (edifici, foreste, pareti rocciose ecc.) si hanno collegamenti con 6, 7 fino a 8 satelliti contemporaneamente, un numero più che sufficiente per determinare la propria posizione.

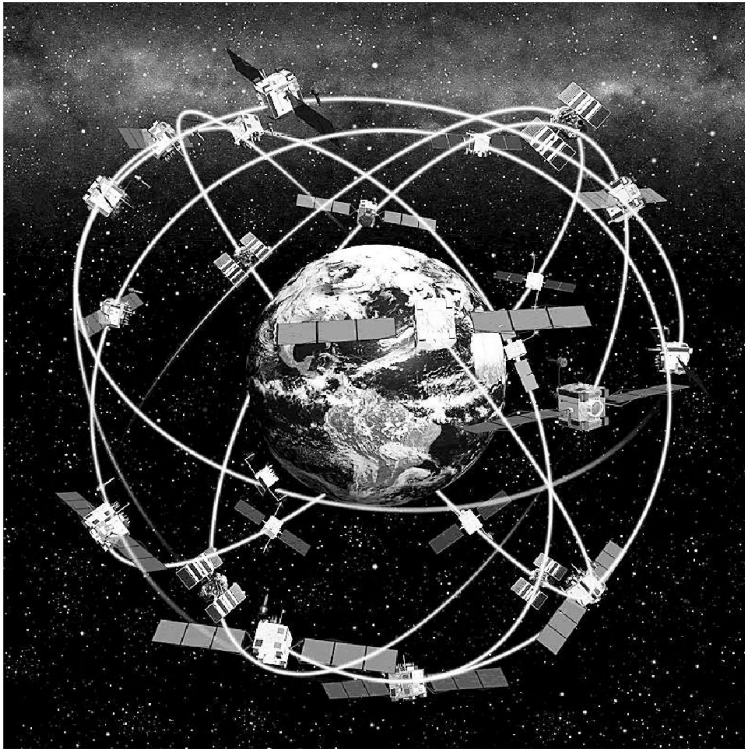


Figura 7: la costellazione GPS per la navigazione satellitare

La scelta della distanza dalla terra e il numero di satelliti sono il risultato di un compromesso. Infatti, se la distanza orbitale fosse molto più piccola, ci vorrebbero molti più satelliti per garantire il collegamento con almeno 4 di essi. Se la distanza fosse molto più grande, ci vorrebbero meno satelliti, ma tutti molto più pesanti, con trasmettitori più potenti, per garantire una buona ricezione al suolo dei (deboli) segnali satellitari. La scelta di 24 satelliti su 6 diversi piani orbitali a circa 26'000 (km) di distanza rappresenta quindi un compromesso tra queste due esigenze, che alla fine si traducono in minor costi.

Oltre ai satelliti per la navigazione spaziale, in questa fascia di orbite medie MEO, si trovano satelliti di comunicazione. Anche in questo caso è però indispensabile mettere in orbita tutta una costellazione di satelliti, se si desiderano realizzare collegamenti radio permanenti e che coprano vaste regioni della terra. Ad esempio per realizzare il sistema di comunicazioni russo Strela, inaugurato nel 1961, furono lanciati ben 570 satelliti, in diverse versioni, posti su orbite medie tra i 1'400 e i 1'800 (km) d'altezza e con inclinazioni tra i 56° e i 74°.

#### 5.4 Orbite alte (HEO)

Si tratta di orbite molto ellittiche, poco sfruttate dalle grandi potenze ad eccezione dalla Russia: presentano però caratteristiche molto interessanti per certe applicazioni militari. L'orbita ha un perigeo molto prossimo alla terra, tipicamente tra i 200 e i 400 (km), e un apogeo molto distante, tipicamente 50'000 (km) e oltre. Ne consegue un'importante variazione delle velocità del satellite durante una sua rotazione: si va dai 10 (km/s) al perigeo agli 1.5 (km/s) all'apogeo. Corrispondentemente anche i periodi sono elevati, si arriva fino a quasi 24 ore per una sola rotazione attorno alla terra. Teoricamente tutte le inclinazioni sono possibili, in pratica si è però utilizzata una sola inclinazione a 63°. La parte dell'orbita più interessante per le applicazioni militari è quella in prossimità dell'apogeo. Bassa velocità e grande distanza significano variazioni angolari minime durante lunghi periodi, ciò che si traduce in condizioni molto favorevoli per le telecomunicazioni e soprattutto per lo spionaggio e l'intelligence elettronica (SIGINT). I russi hanno sfruttato in passato, tra il 1964

e il 2009, queste possibilità, mettendo in orbite HEO molti satelliti (attorno ai 180), denominati Molniya. Questo nome è stato coniato non solo per i satelliti e per tutto il programma russo, ma anche per queste orbite particolari: esse sono conosciute infatti come "orbite Molniya".

La figura 8 mostra la traccia di una singola orbita Molniya: si noti che la stessa copre una fascia compresa tra i  $65^\circ$  di latitudine nord e i  $-65^\circ$  a sud.

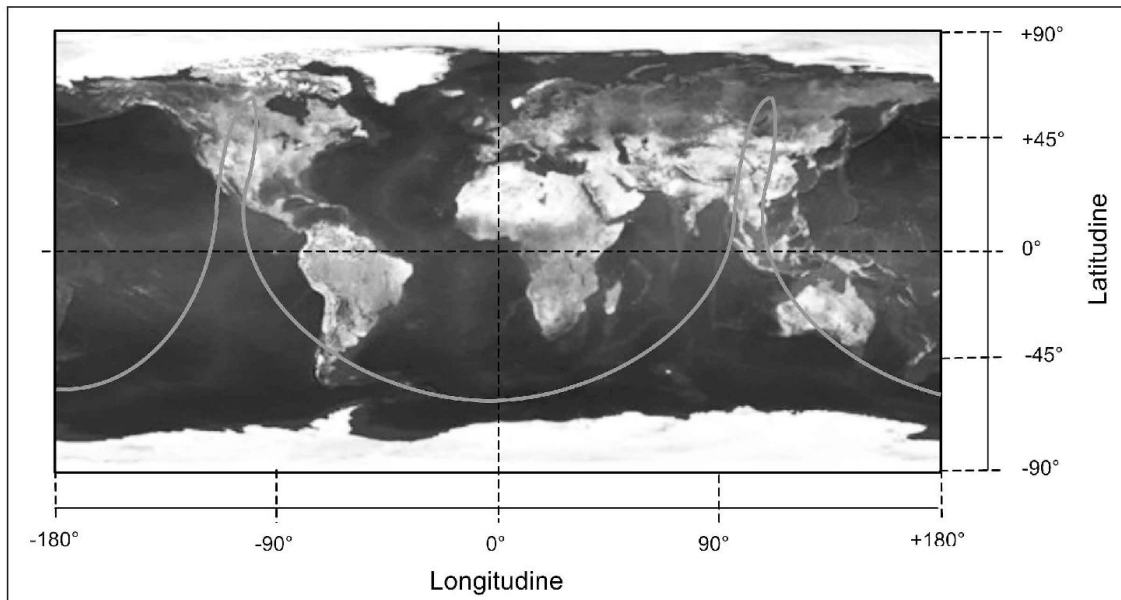


Figura 8: la traccia al suolo dell'orbita alta "Molniya"

Nella categoria delle orbite alte (HEO) vanno annoverate pure quelle del punto 5.5.

### 5.5 Orbite di trasferimento geostazionarie (GTO)

Se si volesse raggiungere un'orbita geostazionaria (vedi punto successivo) direttamente da un qualsiasi cosmodromo della terra, sarebbero necessarie grandi quantità di propellente: in altre parole sarebbe una soluzione molto dispendiosa dal punto di vista energetico. Il fisico tedesco Walter Hohmann propose una procedura alternativa che minimizza il consumo di propellente. Essa consiste nel suddividere il trasferimento in tre fasi separate. In una prima fase il satellite è posto su un'orbita bassa LEO, quasi circolare, sui 300 (km) d'altezza e sul piano equatoriale. In una seconda fase, con l'accensione di razzi, il satellite è poi trasferito su un'orbita alta HEO con l'apogeo a 36'000 (km) e nella terza fase, sempre con accensioni di razzi, il satellite è accelerato all'apogeo in modo tale da raggiungere la velocità necessaria per immettersi nell'orbita geostazionaria, che è in pratica nuovamente quasi circolare. Le procedure per i trasferimenti di un'orbita all'altra sono complicate, richiedono lunghi tempi e controlli meticolosi, ma sono utilizzate regolarmente perché molto convenienti.

### 5.6 Orbita geostazionaria (GEO)

Questo tipo di orbita ha conosciuto negli ultimi anni un enorme sviluppo, sia per le applicazioni civili sia per quelle militari. Si tratta di uno spazio ristretto e molto ambito, nel piano equatoriale della terra. Dozzine di satelliti meteorologici, per le comunicazioni, per il telerilevamento, per le trasmissioni televisive, satelliti spia ecc. affollano l'orbita geostazionaria in modo tale da creare "problemi di posto". È talmente critico l'affollamento che l'orbita stessa è stata suddivisa in segmenti, nei quali si tiene conto quanti satelliti si trovano in ciascun segmento, quanti spazi sono rimasti liberi, quanti satelliti sono perfettamente funzionanti, quanti invece sono difettosi ecc. Satelliti in disuso o dismessi sono subito spostati su orbite più alte o più basse di alcuni chilometri per liberare il posto a nuovi satelliti geostazionari pronti al lancio.

Un'orbita geostazionaria è un'orbita circolare equatoriale, situata a un'altezza tale che il periodo di rivoluzione di un satellite che la percorre coincide esattamente con il periodo di rotazione della terra. È un caso particolare di orbita geosincrona. È definita geostazionaria poiché per un osservatore a terra e all'equatore, il satellite appare fermo in cielo, sempre sospeso sopra la sua testa, nel medesimo punto. Il satellite deve percorrere l'orbita in un tempo uguale al giorno siderale ( $23\text{ h} / 56\text{ min} / 4.09\text{ sec} = 86'164.09\text{ sec}$ ). Tale orbita geostazionaria ha un raggio di 42'168 (km) se misurato rispetto al centro della terra, e di 35'790 chilometri se misurati sopra la superficie terrestre. A questa distanza il satellite ruota attorno alla terra con una velocità di circa 3 (km/s) ovvero di 11'000 chilometri orari.

Un satellite posto in tale orbita può osservare quasi per intero l'emisfero terrestre, poiché l'ampiezza del suo orizzonte equivale a un cerchio centrato sull'equatore con un diametro di circa 18'000 chilometri. Questa dimensione corrisponde a 81,4 gradi di latitudine o longitudine in ogni direzione.

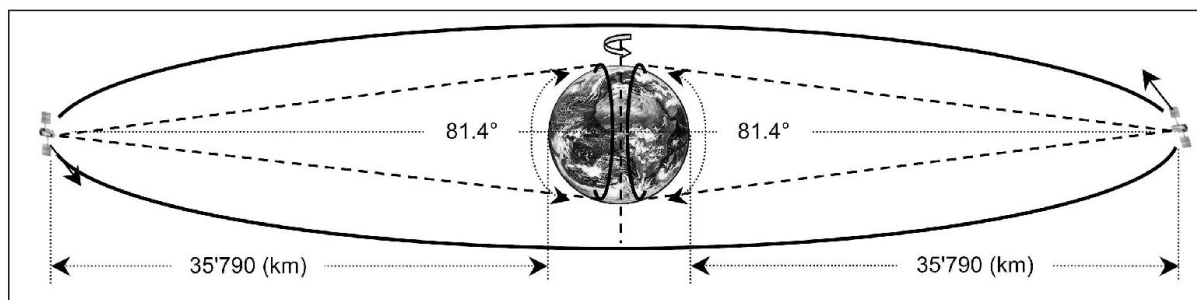


Figura 9: orbita geostazionaria

Come detto, per un osservatore all'equatore il satellite geostazionario appare come un punto fermo in cielo, ciò che è reso evidente dalla figura 10. Si tratta di una fotografia notturna fortemente ingrandita del satellite geostazionario meteorologico Meteosat-6 (1993-073B) illuminato invece dal sole. Le linee luminose corrispondono al movimento delle stelle sullo sfondo nero del cielo siderale durante il (lungo) tempo d'apertura dell'obiettivo nell'apparecchio fotografico.

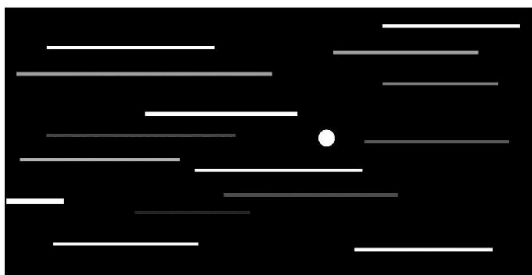


Figura 10: satellite geostazionario Meteosat-6 (foto S. Sposetti)

Fra i molti programmi di satelliti militari, attualmente operativi e posizionati nell'orbita geostazionaria ne ricordiamo due, tutti realizzati dagli Stati Uniti. Il primo è il programma per le telecomunicazioni MILSTAR (Military, Strategic, Tractical And Relais), una rete di cinque satelliti (un sesto è risultato guasto) usati dalla Forze aeree americane (USAF). Il secondo è il grosso programma militare, operativo ormai da 40 anni, DSP (Defence Support Program), una costellazione di satelliti di sorveglianza e d'allerta (Early Warning), il cui unico compito è di rilevare missili balistici al momento del lancio, in qualsiasi regione del mondo, e di allarmare una centrale operativa negli Stati Uniti. Gli USA stanno sostituendo gradualmente questo programma DSP con satelliti più moderni e sofisticati chiamati SBIRS (Space Based InfraRed System).

## 6. I cosmodromi

Vi sono tuttora una trentina di centri spaziali e basi di lancio sparsi nel mondo, ma solo la metà ha raggiunto una certa rilevanza. Comunemente dallo stesso cosmodromo avvengono lanci di satelliti artificiali sia civili sia militari. Tutti i cosmodromi terrestri sono confrontati con alcune situazioni che ne limitano l'impiego. In particolare sono due le cause che hanno effetti negativi importanti: la posizione geografica del cosmodromo e le limitazioni imposte dal territorio limitrofo.

Teoricamente la migliore posizione geografica per immettere in orbita un satellite è l'equatore, quindi a latitudine zero. Ciò è dovuto al fatto che la terra raggiunge proprio all'equatore la sua velocità massima di rotazione, che corrisponde a circa 1'600 chilometri orari. Un satellite può sfruttare appieno l'effetto della velocità di rotazione, se il lancio avviene nella direzione di rotazione, cioè verso est. Lo sfruttamento si traduce allora in un risparmio energetico, cioè in un minor quantitativo di propellente necessario per immettere nell'orbita un determinato carico utile; un risparmio valutabile attorno al 6% rispetto a cosmodromi situati a 30° - 40° di latitudine. Minor carburante significa poter mettere in orbita satelliti più pesanti con lo stesso razzo, un vantaggio non indifferente. Ad eccezione di un singolo caso (un cosmodromo statunitense nell'oceano Pacifico, vedi più avanti), tutti gli altri si trovano sulla terra ferma e non all'equatore. Anche l'inclinazione dell'orbita gioca un ruolo rilevante nel bilancio energetico. Mettere satelliti in orbite polari (90° d'inclinazione), oppure ruotanti in senso inverso rispetto alla terra, rappresentano i due casi più dispendiosi dal punto di vista dei consumi. Per portare un satellite geostazionario, lanciato da Cape Canaveral (28.3° di latitudine nord) sul

piano dell'equatore (quindi a latitudine 0°) si consuma una quantità di carburante pari al 15% del peso del satellite imbarcato. L'area circostante il cosmodromo è un fattore molto limitante per la messa in orbita di satelliti. Da Cape Canaveral, ad esempio, si possono mettere in orbita satelliti il cui angolo d'inclinazione rispetto all'equatore non superi i 57°. Con valori superiori si corre il grosso rischio di far cadere razzi esausti in zone abitate della Florida. Alla base spaziale di Palmachim, in Israele, queste limitazioni sono particolarmente gravose. Per evitare il sorvolo dei vettori sopra spazi aerei dei paesi arabi limitrofi i lanci da Palmachim avvengono in un settore molto ristretto, di soli 2°, verso le coste mediterranee e per di più in direzione opposta alla rotazione della terra. La tabella sottostante riassume i dati dei 15 cosmodromi più importanti, tuttora operativi.

Cosmodromo	Nazione	Latitud.	Longitud.	Inclinaz. min.	Inclinaz. max.	Particolarità
Cape Canaveral	USA	28° 28' N	80° 32' W	28°	57°	
Vandenberg	USA	34° 45' N	120° 37' W	51°	145°	
Kiritimati	USA	0° 00'	154° 00' W	0°	180°	piattaforma marina
Kourou	Guyana fr.	5° 14' N	52° 45' W	5°	100°	
Baikonur	Kazakistan	46° 00' N	63° 00' E	49°	99°	
Plesetsk	Russia	62° 45' N	40° 30' E	62°	83°	
Barents Sea	Russia	69° 18' N	35° 18' E	0°	180°	lanci da sottomarini
Svobodniy	Russia	51° 42' N	128° 00' E	51°	110°	operativo dal 1997
Jiuquan	Cina	41° 19' N	100° 19' E	40°	56°	
Taiyuan	Cina	37° 30' N	112° 36' E	99°	99°	solo orbite polari
Xichang	Cina	28° 15' N	102° 01' E	28°	36°	
Kagoshima	Giappone	31° 15' N	131° 04' E	29°	75°	
Tanegashima	Giappone	30° 24' N	130° 58' E	99°	99°	solo orbite polari
Sriharikota	India	13° 37' N	80° 18' E	44°	47°	
Palmachim	Israele	31° 54' N	34° 42' E	142°	144°	

Da notare che spesso i cosmodromi occupano vaste aree all'interno delle quali vi sono molte singole postazioni di lancio, chiamate "Launch Pads". Ad esempio il cosmodromo di Jiuquan (Cina) ne possiede 5, Plesetsk (Russia) 18, Cape Canaveral 55, Vandenberg (USA) addirittura 92. Oltre il 90% di tutti i lanci con satelliti artificiali avvengono nei cinque cosmodromi di Cape Canaveral, Vandenberg, Kourou, Baikonur e Plesetsk. Il nuovo cosmodromo cinese è quello di Jiuquan (nella provincia di Gansu), perfettamente equipaggiato per il lancio di qualsiasi satellite o navetta spaziale, anche con cosmonauti: vedi figura 12a.

La figura 11 mostra la posizione geografica di questi 15 cosmodromi con i rispettivi settori di lancio.

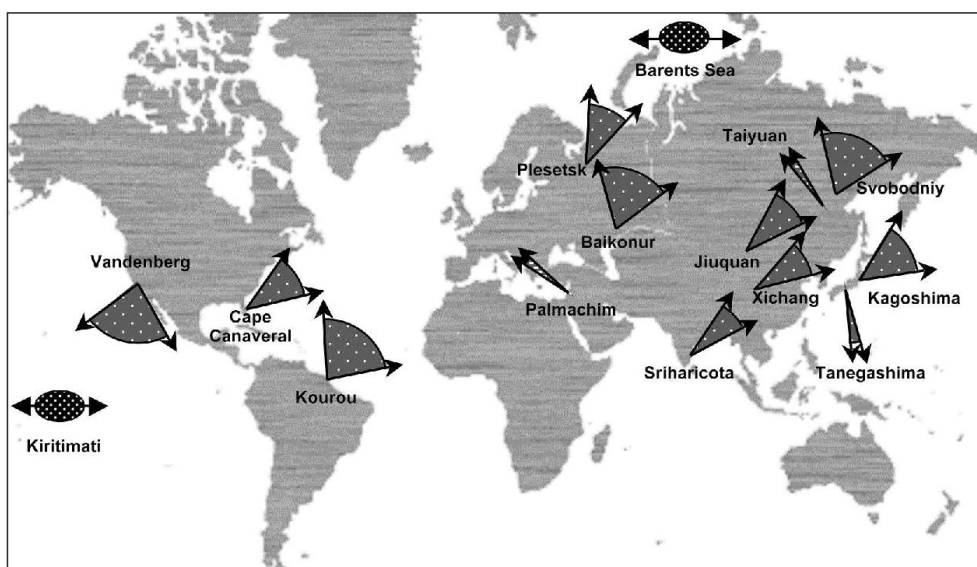


Figura 11:  
i cosmodromi più importanti

Oltre ai comuni cosmodromi su terra ferma esistono due altre categorie di cosmodromi particolari e degni di nota: le piattaforme di lancio "dal mare" e quelle "dal cielo".

In mezzo al Pacifico, nei pressi dell'atollo Kiritimati (appartenente dal 1919 alla Repubblica Kiribati) vi è una piattaforma per il lancio di satelliti: in origine era una piattaforma petrolifera d'alto mare. Già Werner von Braun, nell'anno 1950, aveva identificato e proposto questi luoghi come cosmodromi per lanci di satelliti e navette spaziali, poiché l'atollo si trova esattamente all'equatore. Oggi il suo desiderio è diventato realtà: da piattaforma petrolifera fu trasformata in un vero cosmodromo (vedi figura 12b). Grazie alla sua posizione non conosce in pratica nessuna limitazione di rilievo. Vettori, satelliti e altri mezzi sono trasportati via mare dalle coste californiane a Kiritimati. Una nave speciale, che all'occasione di lanci si attracca alla piattaforma, ricopre il ruolo di centrale operativa di comando e di controllo del lancio. Dalla piattaforma può partire (per ora) un solo lanciatore, lo Zenit-3, un vettore costruito in Ucraina, in grado di immettere in un'orbita geostazionaria satelliti fino a 5 tonnellate di peso.

Pure degna di nota è la possibilità di lanciare satelliti da sottomarini. È il caso dei russi, che dal mare di Barents, presso Murmansk, lanciano satelliti militari di piccola e media grandezza da sottomarini atomici. Essi hanno trasformato missili balistici intercontinentali a testate nucleari del tipo SS-N-8, -18 e -23 in vettori per questo scopo.



Figura 12a: Il cosmodromo cinese di Jiuquan



Figura 12b: La piattaforma di Kiritimati

Originale è poi il (riuscito) progetto della Lockheed, che ha saputo trasformare un vecchio aereo commerciale di linea, lo L-1011 "TriStar", in una piattaforma volante per la messa in orbite basse di satelliti. Sotto la fusoliera è agganciato il vettore Pegasus a propellente solido in grado di portare nello spazio un carico utile fino a 450 (kg) di peso, vedi figura 13 a/b. Il lancio avviene da un'altezza di 11'000 (m) sopra il mare. Pegasus, una volta sganciato dall'aereo, cade orizzontalmente verso il basso per 4 - 5 secondi per poi accendere il razzo propulsore, ruotare verso l'alto e immettere il satellite nell'orbita LEO prevista dopo 60 secondi circa. Grazie a questo "TriStar modificato", dal 1994 fino a oggi sono stati lanciati 33 "Pegasus" e messi in orbita basse 65 piccoli satelliti. Alcuni decolli del "TriStar" hanno avuto luogo dall'aeroporto spagnolo di Gando e i lanci avvenuti sopra l'oceano atlantico. Il maggiore vantaggio di questo sistema risiede nei costi, molto più contenuti rispetto al consueto lancio da terra: lo svantaggio risiede nelle considerevoli limitazioni del peso del carico utile.



Figura 13: l'aereo L-1011 "TriStar" al decollo e al lancio del vettore Pegasus

I due cosmodromi di più recente realizzazione sono quelli d'Alcantara (2°17' S, 44°23' W), nel nord del Brasile sulla costa atlantica, e di Musudan-ri (40°51' N, 129°40' E) nella Corea del Nord. Ambedue non hanno ancora raggiunto gli alti livelli d'efficacia, sicurezza e affidabilità dei cosmodromi statunitensi o russi, ma è solo questione di tempo.

### 8. Razzi e sistemi propulsivi

Per portare oggetti dalla terra nello spazio (e quindi nel vuoto) conosciamo un unico metodo: utilizzare il motore a razzo o endoreattore. Il principio teorico di funzionamento fu enunciato da Isaac Newton nel 17.esimo secolo. Un corpo può essere accelerato in una determinata direzione se un altro, solidale con il primo, accelera nella direzione opposta. Egli chiamò questo principio *Actio = Reactio*. Un principio che si applica oggi non solo ai vettori, ma anche ai motori a reazione dell'aeronautica, alle eliche d'aeroplani o delle navi. Ma, mentre per aerei e navi le forze propulsive si ottengono accelerando masse d'aria o d'acqua presenti in quantità illimitata nelle zone circostanti il mezzo, nei razzi la massa d'accelerare è imbarcata e rinchiusa in serbatoi, quindi in quantità limitata. È per questa ragione che i razzi si chiamano anche "endoreattori". Newton dimostrò che, per ottenere un'accelerazione (o impulso) è decisivo il prodotto della massa per la sua velocità. Poiché negli endoreattori la massa è costituita da molecole di gas, quindi molto piccola, è essenziale che la velocità d'uscita sia elevata. Per procurarsi il gas bisogna iniettare e "bruciare" in una camera di combustione un carburante con l'aggiunta d'ossigeno (chiamato agente ossidante). L'insieme dei due elementi forma il propellente, che può essere liquido o solido. Nella camera di combustione si forma quindi un gas ad alta temperatura e pressione. Per ottenere la forza propulsiva basta permettere al gas di fuoriuscire attraverso un ugello, che è un cono a sezione divergente, provocando così una forte espansione adiabatica del gas. La forza propulsiva che si genera (proporzionale alla velocità del gas e alla massa di quest'ultimo attraverso l'ugello per unità di tempo) è di regola molto superiore al peso stesso del motore. Questa forza "spinge" quindi il razzo in direzione opposta a quella dei gas in fuoriuscita, un po' come quando lasciamo "svolazzare" per la stanza un palloncino riempito d'aria senza il nodo all'estremità.

Va sottolineato il fatto che questa forza propulsiva, esercitata sulle strutture del razzo, è costante nel tempo, mentre la massa totale del vettore (quindi il suo peso) diminuisce di pari passo con il consumo del propellente. Di conseguenza l'intero vettore accelera nel tempo in modo lineare e continuo fino al termine della combustione.

Per rendere l'idea delle prestazioni ottenute dai razzi riportiamo brevemente i dati di uno di essi, il razzo F-1, reso famoso dal suo progettista Werner von Braun. Cinque razzi F-1 formarono il primo stadio del vettore Saturn V che portò i cosmonauti sulla luna nell'ambito del programma Apollo, alla fine degli anni 60.



*Figura 14:  
Werner von Braun davanti ai 5 razzi F-1,  
primo stadio del vettore Saturn-V*

L'F-1 è un grosso razzo a propellente liquido. Il blocco motore ha le dimensioni di 5.64 (m) in altezza e 3.72 (m) in larghezza. Un solo F-1 produceva una spinta continuativa pari a 680 tonnellate: il peso del razzo a vuoto era però di "soli" 9.1 tonnellate. La combustione durava 150 secondi. Al termine di questa fase Saturn-V raggiungeva una velocità di 8'700 (km/h) e si trovava a un'altezza di 62 (km). A ogni secondo un solo F-1 bruciava 1'790 (kg) d'ossigeno liquido, chiamato LOX, e 788 (kg) di un tipo di cherosene per l'aeronautica, noto come RP-1. Nella camera di combustione si sono misurati 3'300 gradi di temperatura e 72 atmosfere di pressione. I gas di scarico fuoriuscivano dall'ugello a una velocità di circa 3'000 (m/s). A causa delle alte temperature la camera di combustione e l'ugello dovevano essere raffreddati da un particolare sistema. Una parte del carburante RP-1 scorreva entro tubi di raffreddamento, che circondavano la camera di combustione e l'ugello, raffreddando le pareti per conduzione. Il carburante era poi recuperato e riutilizzato per la propulsione.

I motori a razzo si dividono in due categorie. La prima utilizza un propellente chimico, che può essere liquido (come nel caso F-1) oppure solido, la seconda sfrutta le proprietà elettriche di certi materiali. In questo secondo caso si sono sviluppati negli ultimi anni motori a ioni (ma anche al plasma o a fotoni) con caratteristiche molto diverse da quelle della prima categoria. I razzi a ioni sono da considerare complementari, e per nulla concorrenti, a quelli con propellente chimico.

La potenza di un razzo è dettata essenzialmente da due parametri: la quantità di gas (o massa) che per unità di tempo attraversa l'ugello e la velocità di fuoriuscita. Senza entrare in particolari tecnici possiamo spiegare la differenza tra le due categorie nel modo seguente.

Nei razzi a propellente chimico è soprattutto la quantità di gas preponderante e non la velocità di fuoriuscita, anche se si raggiungono notevoli valori, tra 2'000 e 5'000 (m/s). Questi razzi sono stati ideati per funzionare durante un breve periodo, da 1 a 2 minuti al massimo, e per sviluppare una grande spinta propulsiva. La quantità di propellente necessaria è grande, rappresenta il 90% del peso totale del razzo. È evidente che questo mezzo è impiegato per immettere in orbita carichi utili anche molto pesanti in tempi assai brevi. I razzi (elettrici) a ioni funzionano esattamente al contrario. La quantità di combustibile a disposizione è minima (pochi chilogrammi) ma la velocità di fuoriuscita dagli ugelli è enorme, oltre i 50'000 (m/s), quindi almeno 10 volte superiore rispetto al razzo a propellente chimico. Le forze propulsive che si ottengono sono invece molto deboli nell'ordine di 20 grammi (!) al massimo, ma esse possono durare ore, settimane, anche mesi. È evidente che questo tipo di razzo è impiegato soprattutto per modificare l'assetto di un satellite o di una sonda spaziale, per eseguire piccole correzioni di orbita o cambiamenti di rotta su lunghi periodi. Tutte manovre dove il fattore tempo è irrilevante. Il suo vantaggio risiede nella quantità minima di combustibile da imbarcare, che in generale è costituito dal gas xeno oppure da mercurio. Gli Stati Uniti hanno installato, nel loro satellite spaziale Deep Space-1, un razzo a ioni alimentato da gas xeno. Il satellite è stato accelerato fino a raggiungere la velocità di 4.5 (km/s) utilizzando soltanto questo razzo a ioni. Al termine della manovra si è potuto verificare che il consumo del gas fu di soli 81.5 kg. Se avessero utilizzato un razzo a propellente chimico avrebbero consumato oltre 2 tonnellate di propellente. L'impiego più spettacolare di un razzo a ioni vide protagonista l'Ente Spaziale Europeo (ESA). Il 12 luglio 2001 l'ESA volle mettere nell'orbita geostazionaria il satellite per le telecomunicazioni ARTEMIS, costruito in massima parte dalla Francia. ARTEMIS pesava 3.1 tonnellate. L'operazione fallì, almeno in parte. Il satellite non raggiunse l'orbita prevista per un difetto al propulsore, arrivò a circa 5 chilometri dal punto desiderato. Si decise allora di portare il satellite da quella posizione di "parcheggio provvisorio" in quella finale utilizzando i razzi a ioni previsti per modificare l'orientamento del satellite. L'operazione riuscì perfettamente, ma furono necessari ben 11 mesi di continue correzioni: il consumo di gas xeno per questa operazione risultò essere di soli 14.2 (kg).

Se le differenze di prestazioni tra un razzo a propellente chimico e uno a ioni sono sostanziali, quelle tra un razzo a propellente liquido e uno solido sono molto meno importanti, anche se evidenti.

Il razzo a propellente solido presenta alcuni vantaggi di spessore. Ad esempio è semplice nella costruzione. Il serbatoio contenente il propellente è nello stesso tempo camera di combustione: non sono quindi necessari serbatoi supplementari, tubature, valvole, pompe o altro. Il carburante (di solito una resina sintetica) contiene pure l'ossidante, formando quindi un'unica massa solida, per lo più cilindrica, cava al suo interno, dove ha inizio la combustione. Questa massa cilindrica si può facilmente immagazzinare, manipolare e trasportare senza alcun pericolo. Con la scelta della forma della cavità interna del cilindro, dello spessore e della consistenza del propellente si possono ottenere prestazioni diverse, adattabili alla missione prevista, in particolare per quanto concerne la durata della combustione. La preparazione di un razzo a propellente solido richiede pochi minuti: ciò è ovviamente un grosso vantaggio per tutte le applicazioni militari, missili balistici e d'artiglieria in primis. I propellenti abitualmente usati generano nella camera di combustione temperature tra 3'000° e i 4'000° e pressioni attorno alle 200 atmosfere. I gas in fuoriuscita raggiungono i 5'000 (m/s) di velocità e le forze propulsive superano largamente la tonnellata. Lo svantaggio principale di questo tipo di razzo risiede nella difficoltà di regolare la forza propulsiva e nell'impossibilità di gestire la durata della combustione. In generale una volta che il razzo è acceso, brucia tutto il propellente a disposizione: spegnimenti e riaccensioni in tempi successivi non sono possibili.

Il razzo a propellente liquido ha altri vantaggi rispetto al propellente solido, ma è sicuramente più complicato nella costruzione, la preparazione del lancio è più difficile e pericolosa. Il carburante e l'agente ossidante sono racchiusi in due serbatoi distinti, separati pure dal terzo, quello della camera di combustione. Sono quindi necessarie tubature, pompe e valvole per iniettare i due agenti nella camera di combustione e regolarne il flusso. Il carburante è spesso costituito da un prodotto chimico corrosivo, tossico o facilmente infiammabile (come ad esempio l'idrogeno liquido) e l'ossidante è per lo più l'ossigeno liquido (LOX) tenuto a basse temperature, inferiori ai  $-225^{\circ}$ . Tutto ciò crea ovviamente problemi di stoccaggio, di scelta di materiali per l'isolamento termico, di trasporto e di sicurezza per il personale. Quando il razzo è attivato, si generano nella camera di combustione temperature fino a  $4'000^{\circ}$ , ciò che obbliga i costruttori a prevedere un sistema di raffreddamento per molte parti del razzo. Il grosso vantaggio risiede nella duttilità d'impiego. Un razzo a propellente liquido può essere acceso, spento e riacceso a piacimento. Inoltre grazie alle diverse pompe e valvole si riesce a regolare facilmente il flusso del carburante nella camera di combustione e quindi a dosare la forza propulsiva.

Le prestazioni di razzi a propellente liquido sono paragonabili a quelle con propellenti solidi. È riconoscibile forse una certa tendenza dei costruttori: essi preferiscono razzi a propellente solido nei casi di trasporti di carichi molto grandi oppure molto piccoli, ma non è una regola fissa e non è sempre così. Inoltre se si usano razzi a più stadi, spesso e volentieri si "combinano" razzi con diversi propellenti: ad esempio il primo stadio a propellente solido, il secondo liquido o viceversa.

Oggi giorno se si vuol inviare nello spazio un proprio satellite militare, non si ha che l'imbarazzo della scelta. USA, Russia, Europa, Cina, India e altri nazioni offrono i loro vettori a questo scopo. La concorrenza è grande, ma i costi sono ugualmente rilevanti. Oltre ai costi legati direttamente allo sviluppo del satellite, vi è la spesa causata dai vettori stessi, dal propellente, dall'utilizzo del cosmodromo e ... dall'assicuratore. Le potenze militari più avanzate cercano, se possibile, di mettere in orbita più satelliti con un unico lanciatore. I costi poi dipendono fortemente dal peso complessivo dei satelliti e dalle orbite scelte: vedi punto 10.

Con la figura 15 mostriamo, a titolo puramente informativo, tre immagini di altrettanti lanciatori tuttora utilizzati da Stati Uniti, Russia e in Europa.



Figura 15a



Figura 15b



Figura 15c

Figura 15a (USA): partenza notturna del lanciatore Delta IV H dal cosmodromo di Vandenberg. Al suo interno si trova l'ultimo satellite di sorveglianza della serie DSP (il 23° satellite), messo in orbita con successo l'11 novembre 2007.

Figura 15b (Russia): preparazione per il lancio di un vettore Proton-M dalla base russa di Plesetsk.

Figura 15c (Europa): disegno schematico del vettore Ariane-5G.

Nella tabella sottostante sono indicati i dati più interessanti di alcuni lanciatori di diversa provenienza. Va notato che la colonna "No razzi / Tipo propellente" si riferisce unicamente al 1° stadio del vettore di serie: esso può essere costituito da più razzi con propellenti diversi. Inoltre per lo stesso tipo di vettore possono esistere più varianti con un numero diverso di razzi: ad esempio, per il vettore Atlas V 500 sono state fabbricate ben 14 varianti con 1, 2, 3, 4 e 5 razzi propulsori. La colonna "No di lanci" si riferisce soltanto al numero di lanci coronati da successo e conteggiati al 31.12.2009.

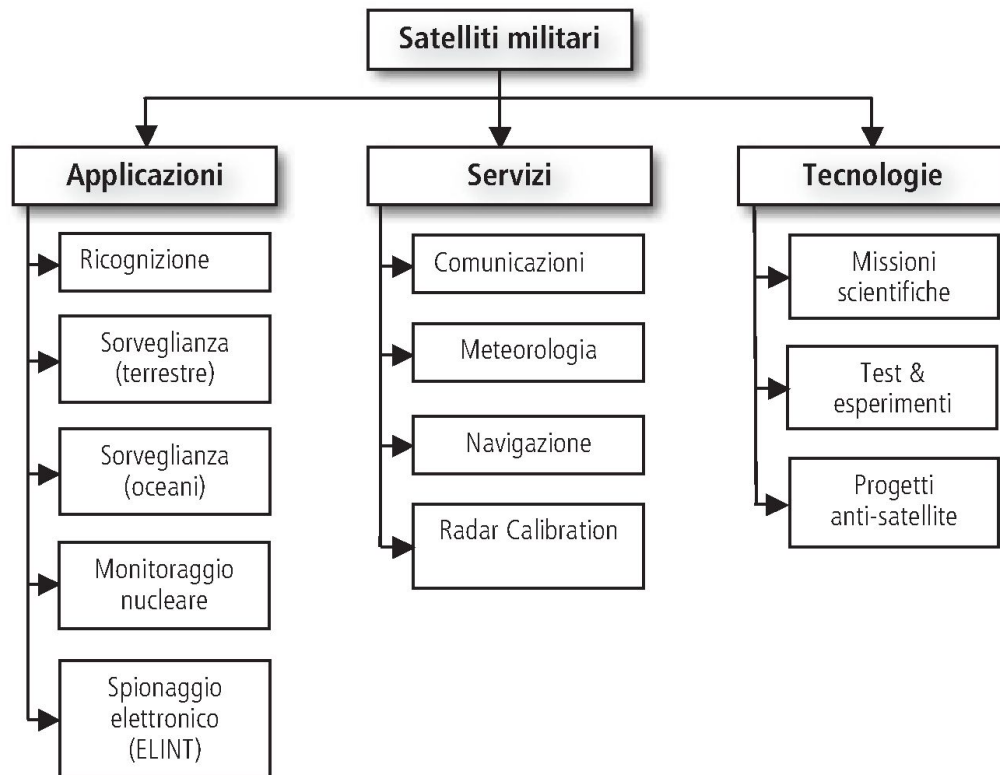
## Equipaggiamento e armamento

Nome lanciatore	No razzi / tipo propel.	Nazione	Data 1° lancio	Peso al lancio (to)	No di lanci	Capacità carico utile (to)	
						Orbita LEO	Orbita GEO
Pegasus XL	1 / solido	USA	1994	23	29	< 2	-----
Delta II	1+9 / liq.+sol.	USA	1989	286	146	2 – 8	1 – 4
Delta IV H	1+2 / liq.+sol.	USA	2004	733	3	> 15	> 8
Delta IV M	1 / solido	USA	2002	250	8	8 – 15	-----
Atlas V 400	1 / solido	USA	2002	547	16	8 – 15	4 – 8
Atlas V 500	1 / solido	USA	2003	547	3	> 15	> 8
Space Shuttle	3+2 / liq.+sol.	USA	1981	2'038	129	> 15	-----
Kosmos-3M	1 / liquido	Russia	1967	109	780	< 2	-----
Sojus-FG	16 / liquido	Russia	2001	305	25	2 – 8	1 – 4
Dnepr-1	4 / liquido	Russia	1999	211	13	2 – 8	
Proton-K	6 / liquido	Russia	1982	684	148	> 15	1 – 4
Proton-M	6 / liquido	Russia	2001	713	38	> 15	1 – 4
Zenit-3	1 / liquido	Ucraina	1999	471	34	> 15	4 – 8
Ariane-5G	1+2/ liq.+sol.	Europa	1996	723	24	> 15	4 – 8
Ariane-5ECA	1+2/ liq.+sol.	Europa	2002	767	23	> 15	> 8
CZ-2C	1 / liquido	Cina	1997	213	7	2 – 8	-----
CZ-4B	4 / liquido	Cina	1999	249	13	2 – 8	1 – 4
CZ-3C	4 / liquido	Cina	2008	345	2	8 – 15	4 – 8
M-V	1 / solido	Giappone	1997	139	7	< 2	-----
H-2A 202	1+2 / liq.+sol.	Giappone	2001	520	17	4 – 15	4 – 8
PSLV	6 / solido	India	1993	294	16	< 2	< 1
GSLV	4 / liquido	India	2001	402	5	2 – 8	1 – 4
Shavit-1	1 / solido	Israele	1988	30	7	< 2	-----

Per finire ricordiamo che le potenze industriali più avanzate in questi ultimi anni hanno ottenuto buoni risultati sull'affidabilità dei propri lanciatori. In generale la probabilità di successo di una missione è superiore al 90%. Ad esempio tra il 1996 e fine 2012 il vettore europeo Ariane 5 (nelle due versioni G ed ECA) è stato lanciato 67 volte dal cosmodromo di Kourou nella Guyana francese per portare nello spazio satelliti di tutti i tipi. In due casi la missione fallì completamente, in altri due il fallimento fu solo parziale, nelle rimanenti 63 missioni il successo fu totale (94%). Da notare che il primo fallimento avvenne con il primo lancio (4.6.1996), l'ultimo con il lancio numero 14 (11.12.2002): quindi da oltre 10 anni non si sono più verificati altri insuccessi.

## 9. I satelliti militari

Come accennato in precedenza (punto 3.) i satelliti militari si suddividono in tre categorie come rappresentato dal seguente schema:



La prima categoria (applicazioni) è senz'altro la più importante, e tra questi i satelliti di ricognizione sono quelli che più ci interessano e che faranno oggetto della nostra attenzione nella seconda parte dell'articolo. Nella "sorveglianza terrestre" sono inclusi i satelliti "Early Warning", quelli cioè adibiti alla sorveglianza e all'allarme nel caso di missili balistici in partenza (programma DSP e SBIRS per gli USA). La sorveglianza degli oceani con satelliti ha conosciuto negli ultimi anni un forte incremento, dovuto in primo luogo alle azioni di pirateria che avvengono nei mari del Corno d'Africa, Indiano ed Estremo Oriente: in questo settore sono oggi particolarmente attivi sia gli Stati Uniti sia l'UE.

La seconda categoria (servizi) include quei satelliti di supporto molto utili durante la pianificazione e la condotta di operazioni militari. Sono diventati importantissimi sia i satelliti per le comunicazioni a grandi distanze sia quelli per la navigazione satellitare: questi ultimi poi sono diventati indispensabili per localizzare geograficamente uomini e mezzi sul terreno come pure per guidare missili e bombe su obiettivi stazionari (armi a guida GPS).

La terza categoria è quella meno appariscente e poco conosciuta poiché coperta dal più stretto segreto militare. Si tratta per lo più di programmi di ricerca con satelliti finalizzati allo studio di nuovi mezzi di difesa dallo spazio. Nati trent'anni fa, sulle ceneri del progetto SDI e delle "guerre stellari", i programmi per ricavare vantaggi strategici dallo spazio non sono mai stati abbandonati dalle grandi potenze militari, e tra queste va annoverata ormai anche la Cina. A nostra conoscenza non si è giunti, per ora, a collocare armi distruttive nello spazio (proibito tra l'altro da convenzioni internazionali). Per contro vi è un'attività finalizzata a testare le possibilità di neutralizzare, accecare, mettere fuori uso satelliti e piattaforme nemiche usando diversi effettori. Tutte attività, come detto, che si svolgono nel retroscena di progetti di ricerca militari e dalle quali trapelano ben poche informazioni.

Nel 2011 furono messi in orbita con successo 39 satelliti militari: di questi 20 (52%) appartenevano alla prima categoria, 15 (38%) alla seconda e 4 (10%) alla terza categoria. I più attivi negli ultimi anni sono stati i russi con programmi per il potenziamento della costellazione di satelliti GLONASS (navigazione satellitare) e i cinesi con programmi di sorveglianza e d'allerta "Early Warning", un sistema simile al DSP americano.

In ogni satellite si riconoscono tre parti essenziali (vedi figura 16): una struttura meccanica di sostegno, i sistemi per la raccolta delle

informazioni con strumenti di bordo (il vero carico utile del satellite) e i sistemi ausiliari. Tra questi ultimi vanno annoverati i sistemi per l'approvvigionamento d'energia elettrica, i razzi per il controllo dell'assetto e dell'orientamento del satellite, i sistemi per il controllo termico, per la gestione e la memorizzazione dei dati (computer) e per la trasmissione dei dati al suolo (antenne).



Figura 16: il satellite militare di ricognizione Helios-2B sopra le Alpi (cooperazione tra Francia, Belgio, Spagna, Grecia)

L'approvvigionamento d'energia elettrica è garantito, nella maggioranza dei casi, da pannelli solari. Questa soluzione ha il grosso vantaggio che l'elettricità si produce "in loco" e non deve essere trasportata dalla terra nello spazio, ma ha anche lo svantaggio di una produzione altalenante, poiché il satellite quando si trova nel cono d'ombra della terra, non essendo illuminato dal sole produce ben poca corrente. Se con i pannelli solari non si arriva a soddisfare tutto il fabbisogno energetico del satellite si usa spesso e volentieri un impianto elettrochimico costituito da celle combustibili, che utilizzano idrogeno e ossigeno per la produzione dell'elettricità mancante: una soluzione ottimale poiché evita qualsiasi processo di combustione termica. La tecnologia di alcuni anni fa, che consisteva d'imbarcare un piccolo reattore nucleare per alimentare elettricamente tutti i sistemi del satellite, sta oramai scomparendo a causa del ben noto rischio di contaminazione del suolo con materiale radioattivo in caso di caduta del satellite sulla terra.

Di solito ogni satellite, raggiunta l'orbita, ha la necessità d'eseguire piccole manovre correttive. Si tratta di due tipi di manovre. La prima consiste in semplici traslazioni, per lo più di poche decine o centinaia di metri, per immettere il satellite esattamente nell'orbita prestabilita. Per eseguire quest'operazione il satellite usa piccoli razzi a propellente chimico. La seconda manovra, ben più importante, consiste nell'aggiustare l'assetto del satellite, orientandolo cioè in una direzione ben precisa rispetto alla terra. In questo secondo caso si adoperano spesso motori elettrici a ioni o al plasma. Ogni rotazione del satellite attorno ai propri assi principali sono controllate da giroscopi d'alta precisione. Oggigiorno si ottengono precisioni angolari molte elevate, inferiori a un millesimo di grado ( $0.001^\circ$ ). Questa precisione è necessaria ed è richiesta soprattutto per quei satelliti di ricognizione con sensori ottici ad alta risoluzione. Le rotazioni del satellite prodotte dal motore a ioni sono lente ma accurate. Ad esempio per far ruotare un satellite di  $20^\circ$  sono necessari almeno 10 secondi. Durante questo tempo la ricognizione non è possibile. Se il satellite si trova in un'orbita bassa (LEO), ciò significa che il satellite ha percorso 70 (km) sull'orbita e la traccia dell'immagine satellitare sulla terra si è spostata di almeno 300 (km).

La capacità di memoria nel computer di bordo dipende dalla missione assegnata al satellite. Le necessità di calcolo e di memoria per il controllo della posizione e dell'assetto sono ben poca cosa rispetto alla quantità di dati ottenuti dai sensori di bordo: dati che devono essere elaborati e ovviamente trasmessi al suolo. Per un satellite militare di ricognizione con sensori ottici la produzione di dati a ogni secondo si aggira sui 500 Mbit: questi dati devono essere compressi, criptati e inviati a terra. Può capitare che computer e trasmettente non siano sufficientemente performanti per elaborare e trasmettere il flusso di dati in tempo reale alle stazioni terrestri, oppure a un altro satellite per le telecomunicazioni in un'orbita vicina. In questi casi i dati devono essere masterizzati su delle unità di memoria a stato solido, chiamate SSR (Solid State Recorder), per poi essere inviati al suolo in tempi successivi: in ogni caso le informazioni ottenute non possono più essere considerate "in tempo reale".

### 10. Aspetti finanziari

Per terminare questa prima parte dell'articolo vogliamo riferire brevemente sui costi dei programmi spaziali. Va da sé che le cifre menzionate sono da considerarsi come approssimative, per lo più stime, poiché valori esatti non sono mai resi noti né dai costruttori

né dai committenti. Indichiamo le somme di denaro in dollari, poiché considerata la valuta di riferimento su scala mondiale e molto prossima al valore del... franco svizzero.

L'importanza che uno Stato riserva ai programmi militari nello spazio si misura dalle somme di denaro che annualmente decide d'investire in questo settore. Per esempio gli Stati Uniti spendono ogni anno attorno \$ 26 miliardi per satelliti militari, il Giappone \$ 1.2 miliardi, e l'UE... zero. L'Agenzia Spaziale Europea (ESA) spende annualmente \$ 3.9 miliardi, ma solo per programmi spaziali civili, niente invece per quelli specificatamente militari. Questi ultimi sono lasciati a iniziative dei singoli Stati dell'UE, come Francia, Gran Bretagna, Germania, Italia e Spagna. La Francia, con una spesa annua sui \$ 780 milioni, è la nazione europea più impegnata nel settore spaziale militare.

Stabilire il costo di un singolo programma spaziale militare è difficile, per svariate ragioni. Anzitutto perché i progettisti sono molti e non tutti indicano le cifre del loro lavoro, poi perché i costi per la ricerca e lo sviluppo possono essere inseriti tra i budget globali di Università o di altri laboratori statali e infine perché spesso le infrastrutture necessarie (si pensi a piattaforme di lancio, vettori ecc.) sono utilizzate anche per programmi civili. Non va poi dimenticato che, una volta in orbita, le spese per il programma non sono terminate. Mentre il satellite ruota e trasmette informazioni al suolo, vi sono due organizzazioni costantemente all'opera, chiamate "segmenti terrestri", che generano costi d'esercizio anche rilevanti. Il primo segmento, denominato FOS (Flight Operation Segment), ha la responsabilità del controllo del satellite in orbita e del mantenimento delle sue funzioni, il secondo, PDS (Payload Data Segment), ha la responsabilità della raccolta, messa in sicurezza e valutazione dei dati ricevuti.

I costi per programmi spaziali civili sono noti con una precisione migliore: soprattutto per i satelliti meteorologici e per la navigazione satellitare. Tuttavia, paragonare i costi di questi programmi con analoghi programmi militari è alquanto azzardato. La ragione va ricercata in primo luogo nell'esigenza di una maggiore sicurezza da parte del militare. Gli strumenti devono resistere a disturbi elettronici, i dati trasmessi devono essere criptati, i sistemi più importanti nel satellite devono essere ridondanti, la protezione delle stazioni al suolo deve essere maggiore, e altro ancora. Tutte misure che rincarano ovviamente i programmi puramente militari, un rincaro che, stiamo, raddoppia i costi, come minimo. Quantomeno riteniamo interessante conoscere l'ordine di grandezza dei costi per quelli civili:

### - Navigazione

Lo sviluppo, la fabbricazione e la messa in orbita dei 30 satelliti del programma europeo GALILEO per la navigazione satellitare è costato \$ 4.6 miliardi. Per garantirne l'esercizio si prevede una spesa annua di \$ 300 milioni. I cinesi stanno realizzando una costellazione di satelliti per la navigazione, paragonabile all'attuale GPS, e hanno preventivato una spesa di \$ 5.2 miliardi.

### - Comunicazione

In Europa si prevede di sviluppare un nuovo sistema di comunicazioni dallo spazio nella banda di frequenze 14 – 18 GHz. Spesa prevista (senza i satelliti) circa \$ 650 milioni.

### - Ricognizione

Lo sviluppo, la fabbricazione, il lancio di un satellite per il telerilevamento terrestre, nella classe di peso 500 – 1'000 (kg), sono stimati oggi tra \$ 200 – 400 milioni.

Il costo per la realizzazione di un micro – satellite, nella classe 10 – 100 (kg), quale piattaforma per l'osservazione della terra, è stimato attorno ai \$ 15 milioni.

Per le due sonde solari di ricerca HELIOS – 1 / – 2 (in totale quattro piattaforme) sono stati spesi nel decennio 1970 – 1980 circa \$ 5 miliardi. Per la costruzione del corrispondente "segmento terrestre" si è speso attorno al 15% del totale.

I costi per il lancio di un satellite sono conosciuti con buona precisione; tuttavia non vanno sopravvalutati perché rappresentano soltanto il 10% - 15% della spesa complessiva. Essi variano secondo il peso del satellite (di riflesso quindi dalle dimensioni del lanciatore), l'orbita che si vuol raggiungere e... il cosmodromo. Vi sono notevoli differenze nei costi tra cosmodromi "occidentali" (USA, Europa) e gli "altri" (Russia, Cina, India ecc). Quando avvengono dei lanci da cosmodromi, la stampa riporta di solito il costo dell'operazione. Ad esempio il lancio di un satellite russo con il lanciatore Rockot dal cosmodromo di Plesetsk è costato \$ 15 milioni, un lancio con il vettore Ariane-5 dal cosmodromo della Guyana è costato \$ 160 milioni. A prima vista queste differenze sembrano enormi, ma le cifre sono fuorvianti poiché non dicono nulla sul peso del carico utile e sull'orbita da raggiungere. Una cifra sicuramente più rappresentativa è quella del rapporto tra costo di lancio e peso del carico utile. Nel caso del satellite e del lanciatore russo Rockot si arriverebbe a \$ 7'700 per chilogrammo di carico utile e nel caso di Ariane-5 a \$ 9'600: la differenza sussiste ed è evidente, ma è molto meno accentuata.

Due altri esempi.

Se si desiderasse mettere in un'orbita bassa (LEO) un satellite militare di medie dimensioni, lanciato da Cape Canaveral, si spende-

rebbe mediamente attorno ai \$ 11'000 per ogni chilogrammo di carico utile. Se lo stesso satellite fosse lanciato (ad esempio) dal cosmodromo di Jiuquan in Cina si spenderebbe mediamente \$ 5'500 per ogni chilogrammo, quindi all'incirca la metà.

Se un satellite della stessa categoria di peso fosse lanciato da Cape Canaveral per raggiungere l'orbita geostazionaria (GEO) si spenderebbe circa \$ 39'000 per ogni chilogrammo di carico utile, cioè più del triplo rispetto all'orbita LEO.

La miniaturizzazione dell'elettronica, l'uso sempre più frequente di "componenti civili" di largo consumo, stanno riducendo progressivamente e in modo decisivo i costi dei satelliti militari. Costruire e mettere in un'orbita LEO un satellite militare, munito di alcuni semplici strumenti ottici per l'osservazione della terra, costerebbe attorno ai \$ 70 milioni. Con quest'unica piattaforma tuttavia si è ancora ben lontani d'aver realizzato un sistema di ricognizione. Una costellazione di satelliti militari di ricognizione con una vasta copertura, grande affidabilità e sicurezza, un'operatività garantita 24 ore su 24, costa parecchi soldi: se includiamo anche i costi dei "segmenti terrestri" (ad esempio sul periodo di 10 anni), si deve calcolare una spesa complessiva tra \$ 2 – 3 miliardi.

Conseguenze:

La fabbricazione di singoli satelliti artificiali, la loro messa in orbite basse, sta diventando, dal punto di vista finanziario, attuabile anche per piccoli Stati. Una situazione già ampiamente sfruttata nel campo dei satelliti civili. Invece la realizzazione e la gestione di programmi spaziali militari su vasta scala, sia per l'aspetto finanziario ma anche per quello scientifico e tecnologico, continua a essere una prerogativa delle grandi potenze. Rimane in molti casi aperta la possibilità, per i piccoli Stati, d'acquistare quote partecipative oppure siglare accordi di cooperazione per avere più tardi da una parte la certezza d'accesso ai dati e dall'altra di usufruire dei servizi e delle informazioni dei satelliti a condizione di favore. ■

### Fonti

1. Pavel Podvig & Hui Zhang, "Russia and Chinese responses to U.S. Military plans in Space", American Academy of Arts and Science, 2008
2. Claude Lafleur, "The Spacecraft Encyclopedia", 2012, <http://claudelafleur.qc.ca/Spacecrafts-index.html>
3. Francesco Romano, „Endoreattore F-1, propulsore del primo stadio del Saturn V nelle missioni del programma Apollo", Istituto tecnico superiore Arturo Malignani, Udine, 2007
4. Rocket, <http://en.wikipedia.org/Wiki/Rocket>

**Scrivetemi le vostre:**

**Osservazioni**

**Reazioni**

**Contestazioni**

**Critiche**

Franco Valli

valli.franco@gmail.com

Via C Ghiringhelli 15  
6500 Bellinzona

**Scrivetemi,  
nell'interesse dei lettori della RMSI!**

## Promozioni il 2 marzo 2013

maggiore SMG

Ramon Emerson, Gordevio

## Promozioni il 1. aprile 2013

colonnello

Marco Lucchini, Locarno

aiutante maggiore

Ivano De Filippis, Giubiasco

maggiore

Christian Engeli, Arbedo  
Stefan Schweizer, Ponte Capriasca

aiutante di stato maggiore Leyla Manzoni, Roveredo GR

capitano

Igor Canepa, Gondola

primotenente

Filippo Boo, Bodio  
Samuel Domenech, Agno  
Elia Fassora, Davesco-Soragno  
Filippo Medolago, Cureglia  
Simone Pellegrino, Biasca  
Ivan Ravelli, Chiasso  
Francesco Schärer, Castagnola  
Riccardo Schweizer, Bedigliora  
Patrick Vananti, Osogna

## Nuovo comandante del battaglione logistico sanitario 81

Il ticinese tenente colonnello SMG Antonio Spadafora (nella foto di spalle) è il nuovo comandante del battaglione logistico sanitario 81.



*Il ten col SMG Spadafora (di spalle)  
riceve il vessillo del battaglione*