via De Gasperi, 131 - 80059 Torre del Greco NA

Perché i satelliti artificiali si mantengono in orbita nello spazio?

Nell'opera di Jules Verne "I cinquecento milioni della Begum" sono raccontate le avventure di due scienziati che, contro ogni aspettativa, vengono in possesso di una immensa fortuna.

Il primo, il dottor Sarassin, un francese, investe le proprie ricchezze nella realizzazione di una città modello, urbanisticamente avanzata, alla quale dà il nome di France-Ville.

Il secondo, il perfido professor Schultze, costruisce invece un'immensa acciaieria destinata unicamente alla produzione di cannoni con i quali spera fermamente di distruggere France-Ville.

Il romanzo è talmente realistico e contiene soluzioni tecniche talmente avanzate che molti urbanisti potrebbero utilizzare oggi le idee di pianificazione di Sarassin per costruire una città moderna e i cannoni progettati da Schultze dovevano trasformarsi in realtà qualche decennio più tardi.

I cannoni di Schultze erano di tipo diverso, proiettili asfissianti riempiti di anidride carbonica, lontani predecessori di quelli a gas letali impiegati durante la grande guerra, ed infine un unico formidabile proiettile munito a sua volta di tanti piccoli cannoni caricati con spezzoni incendiari che avrebbero fatto fuoco contemporaneamente sorvolando France-Ville.

I proiettili asfissianti del professor Schultze potevano essere lanciati da cannoni convenzionali, mentre il proiettile gigante richiedeva un obice progettato espressamente per effettuare un solo tiro, in quanto l'enorme carica di polvere da sparo lo avrebbe messo fuori uso al primo colpo.

Senza dilungarci più a lungo su questo argomento, diremo che al momento in cui tutte le speranze per gli abitanti di France-Ville sembravano perdute, un errore nei calcoli del professor Schultze mandò a monte i suoi sinistri progetti: il cannone sparò, ma il proiettile, lanciato ad una velocità di circa 10 km/sec, non raggiunse mai il suo bersaglio, né alcun punto della superficie terrestre, perché si mise ad orbitare intorno ad essa.

Senza ombra di dubbio Jules Verne aveva inventato così, anche se sulla carta, nientemeno che un satellite artificiale.

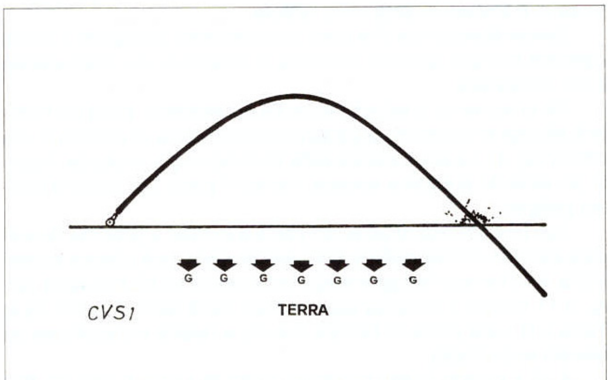


Fig. 1 - Un lancio effettuato entro un campo gravitazionale G uniformemente distribuito, corrispondente ad una Terra piatta, darebbe come risultante una traiettoria parabolica. Questo tiro viene studiato nei testi elementari e, sebbene sia abbastanza preciso per lanci a corta distanza, non corrisponde rigorosamente alla realtà.

Newton, il cannone ed il satellite

Questo romanzo di Verne è forse l'unico documento del secolo scorso in cui sia palesata la possibilità di mettere in orbita dei satelliti artificiali. A parte gli innumerevoli punti deboli e gli inevitabili errori tecnici, il dato fondamentale dell'enunciato è esatto.

In determinate condizioni, un proiettile lanciato ad una velocità opportuna, può anche non ritornare sulla Terra. Bisogna però considerare che l'idea, dal punto di vista teorico, non è nuova.

Nel diciassettesimo secolo infatti Isacco Newton l'aveva già enunciata nei suoi "Principi matematici della filosofia della natura", senza ovviamente prevedere lo sviluppo che avrebbe avuto la missilistica trecento anni più tardi.

Per capire facilmente il perché un satellite non cade ed orbita nello spazio intorno alla Terra, senza l'uso di tante formule, immaginiamo insieme a Newton di trovarci in cima ad una grande montagna, sulla sommità della quale sia piazzato un cannone in direzione perfettamente orizzontale.

Togliamo l'atmosfera terrestre per evitare che l'attrito dell'aria abbia effetto sul risultato dell'esperimento e supponiamo che l'unica forza esistente sia soltanto quella del campo gravitazionale scoperta appunto da Newton.

Carichiamo ora il cannone con una certa quantità di polvere e spariamo: il proiettile descriverà una traiettoria quasi parabolica per poi ricadere ad alcuni chilometri di distanza.

Ripetiamo l'esperimento del tiro usando una quantità doppia di polvere da sparo: il proiettile cadrà ad una distanza all'incirca doppia di quella precedente, e così via.

La portata del tiro sarà sempre direttamente proporzionale alla quantità di esplosivo impiegato. Per tiri di breve distanza si può accettare in prima approssimazione che la traiettoria del proiettile sia, come abbiamo detto, una parabola (fig. 1), ma in realtà sarebbe più esatto dire che le varie traiettorie sono ellittiche (fig. 2).

Quando il tiro avviene su distanze relativamente corte, la diffe-

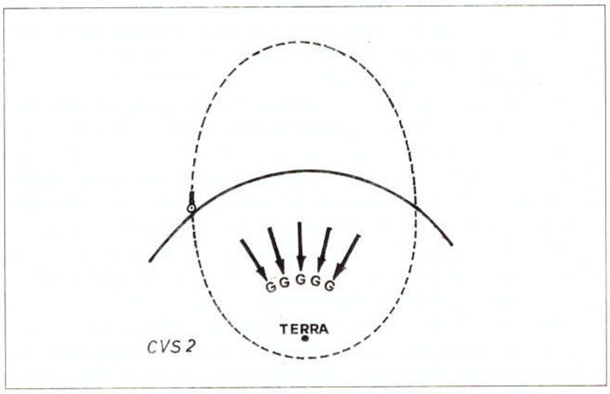
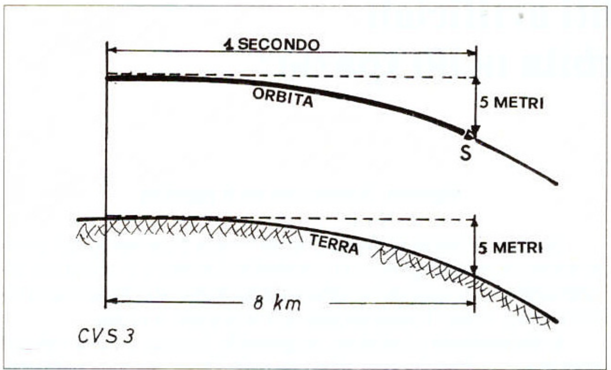


Fig. 2 - Siccome la Terra è sferica, ad essa in realtà corrisponde un campo gravitazionale centrale in cui tutti i vettori G del campo confluiscono ad un centro comune. In queste condizioni reali, la risultante della traiettoria di un missile costituisce un arco di ellisse e non già una parabola.

Fig. 3 - La superficie terrestre, data la curvatura, si "infossa" di cinque metri ogni otto chilometri di percorso. Un proiettile che perde 5 m di quota, se lanciato a 8 km/sec, non raggiunge mai il suolo, ma si mantiene in un'orbita permanente intorno alla Terra.



renza è praticamente inapprezzabile; quando il tiro è rivolto verso obiettivi oltre l'orizzonte, la differenza riveste una notevole importanza. Il fatto che generalmente si parli di traiettorie paraboliche, anziché ellittiche, è dovuto a ragioni pratiche di semplicità.

Lo studio matematico, basato su teorie più realistiche, dimostra che la traiettoria di un proiettile di cannone è un'ellisse che, per forza di cose, non si chiude mai, giacché il proiettile ha un impatto sul terreno dopo aver descritto un arco di traiettoria ellittica più o meno lungo (fig. 2).

Nei normali tiri di artiglieria, questo arco di traiettoria può essere considerato senza grande errore una parabola (fig. 1).

D'altra parte sarebbe inutile sottilizzare fra le differenze di precisione fra una traiettoria parabolica ed una ellittica, giacché le perturbazioni dovute all'attrito con l'aria sono così imponenti e modificanti che neppure il tiro parabolico, di cui normalmente si parla in artiglieria, non è in pratica ottenibile.

Fino alla seconda guerra mondiale questa lieve differenza fra traiettorie ellittiche e paraboliche non aveva eccessivo peso nei riguardi del tiro.

Il cannone tedesco "Die grosse Bertha" del calibro di 420 mm, usato nella guerra precedente, non superava i 120 km, distanza ancora troppo corta per poter apprezzare differenze sostanziali di tiro.

L'invenzione del razzo con Von Braun invece segnò un'autentica rivoluzione nell'artiglieria classica.

I razzi V2 tedeschi, infatti, si sollevavano fino a 100 km prima di precipitare in caduta libera sui loro obiettivi. Le V2 potevano coprire in pochi minuti i 400 km di distanza che separavano la loro base di Peenemünde dal loro obiettivo di Londra e, a queste distanze, la differenza fra i due tipi di traiettoria, ellittica e parabolica, cominciavano già ad essere apprezzabili.

Alcuni anni più tardi, intorno al 1950, l'avvento degli ICBM (i missili balistici intercontinentali) segnò la fine vera e propria del tiro parabolico, giacché i razzi raggiungevano altitudini di 1000 - 1500 km per poi ricadere verso l'obiettivo descrivendo un arco di ellisse perfetta. Questi razzi, se il suolo non si fosse interposto sulla loro traiettoria, avrebbero compiuto una rotazione completa intorno alla Terra per poi ritornare al punto di partenza e continuare a ruotare così indefinitivamente (fig. 2).

Ritorniamo ora all'esempio della montagna e del cannone. Si può intuire che quanto più si aumenta la carica di esplosivo, tanto più si accresce la velocità di uscita del proiettile e la sua gittata. Siccome la Terra è rotonda, più il proiettile si allontana dal cannone, più spazio deve coprire nella discesa per toccare il suolo.

Ciò significa che la superficie terrestre, vista dal proiettile, non rimane una superficie piana, ma si va "infossando" sotto la traiettoria. La curvatura della Terra è tale che, ogni 8 km percorsi in linea perfettamente retta, il suolo "discende", si fa per dire ed usando un termine impreciso, di 5 metri (fig. 3).

Se il proiettile, percorrendo 8 km perde più di 5 m di quota, è evidente che prima o poi finirà per ricadere sulla Terra ed in questo caso ci troviamo di fronte al classico tiro di artiglieria.

Supponiamo però che il nostro proiettile, usato come esempio, viaggi ad una velocità tale da perdere proprio questi 5 metri critici, cioè che la sua velocità sia di 8 km/sec: ciò equivale a dire che il proiettile "cadrà" verso la Terra con la stessa velocità con cui la superficie della Terra si "abbassa" sotto di lui.

Risulterà in tal modo che dopo i primi 8 km di traiettoria, sebbene abbia perduto 5 m di quota, il nostro proiettile continuerà a trovarsi esattamente alla stessa distanza dalla Terra che aveva al momento dello sparo (fig. 3).

Se il proiettile mantiene la sua velocità, e ciò nell'ipotesi è possibile perché abbiamo eliminato l'atmosfera lasciando la sola forza di gravità, la situazione sarà molto interessante perché il suolo si "abbasserà" sfuggendo sempre davanti al proiettile e questo non riuscirà mai a cadere.

Il proiettile percorrerà 100, o 500, o 1000 km cadendo senza mai cadere, sempre allo stesso livello, taglierà l'equatore, sorvolerà l'emisfero Nord, passerà per l'Artide e discenderà verso latitudini meridionali per ritornare al suo punto di partenza senza aver perduto un solo centimetro di quota.

Il proiettile farà un giro completo della Terra e continuerà a descrivere delle orbite intorno ad essa fintanto qualcosa non si frapponga a frenare pian piano la sua corsa.

In questo caso possiamo dire che il proiettile è divenuto un satellite artificiale ed è entrato in orbita. In realtà le cose avvengono in modo meno semplice e vediamo il perché.

Circonferenze, ellissi, iperboli e parabole

Secondo questa teoria, che non è rigorosamente tecnica, immettere un oggetto in orbita intorno alla Terra può sembrare un'operazione piuttosto semplice.

Basta infatti conferire al proiettile una velocità che soddisfi la condizione teorica che è di perdere 5 metri di quota ogni 8 km percorsi. Tuttavia in pratica questa operazione non è realizzabile.

Per raggiungere questa eccezionale velocità, il proiettile deve muoversi ad oltre 8 km al secondo (circa 28.000 km/h); una velocità così alta che il solo attrito dell'aria sarebbe bastante a disintegrare in una frazione di secondo il proiettile. Ciò spiega perché si usa il razzo, il cui compito principale è quello di sollevarsi progressivamente a velocità sempre più alta, sottraendosi prima all'azione frenante dell'atmosfera e raggiungere in ultimo la velocità di immissione in orbita, in una zona cioè dove i gas sono così rarefatti che la velocità di 8 km/sec diventa cosa fattibile.

Domandiamoci ora che cosa succederebbe caricando il nostro cannone con una quantità superiore di esplosivo, pur mantenendo il tiro orizzontale.

Più si aumenta la velocità di uscita del proiettile, tanto più l'orbita si allunga all'estremità opposta e si trasforma da un cerchio in una ellisse (fig. 4). La sua distanza dalla Terra non è più costante, il punto più distante si chiama apogeo, mentre il punto più vicino si chiama perigeo.

Con una velocità di partenza pari a 9 km/sec il proiettile descriverà ancora un'orbita ellittica molto arrotondata, cioè a bassa eccentricità. A 10 km/sec l'apogeo si allontana a più di 18.000 km dalla Terra. A 11 km/sec il proiettile supera quasi metà della distanza fra la Terra e la Luna prima di tornare indietro e l'orbita è classificata ad elevata eccentricità.

A 11,1 km/sec l'orbita inglobera anche la Luna. E così via; fino a che punto? Fino a quando si può allungare questa ellisse, facendo in modo che l'eccentricità tenda all'unità?

In realtà l'eccentricità dell'ellisse si avvicina ad un punto limite.

Nell'istante in cui vengono raggiunti gli 11,2 km/sec si verifica un fenomeno nuovo ed interessante. Il proiettile si sposterà non più seguendo una traiettoria ellittica, bensì parabolica. Per definizione (sia pure empirica) una parabola è una curva aperta le cui due estremità si allungano all'infinito senza chiudersi mai e perciò a questa velocità il proiettile non ritornerà mai più verso la Terra. Questa velocità critica di 11,2 km/sec si chiama "velocità di fuga" e così, per svincolarsi dalla forza di gravità terrestre, una navicella spaziale diretta verso un corpo celeste che non sia la Luna, deve partire dalla Terra e deve raggiungere almeno questa velocità.

In pratica l'utilizzazione "furba" dell'attrazione esercitata dalla Luna viene utilizzata per conferire alla navicella un supplemento di accelerazione e farla uscire dall'influenza della gravitazione terrestre. Ciò è stato fatto per le sonde interplanetarie Mariner, destinate all'esplorazione del sistema solare.

Oltre a ciò, la velocità di fuga non ha un valore fisso, ma diminuisce quanto più ci si innalza sopra la Terra sottraendosi alla forza di gravità.

Per questo motivo, se la immissione in orbita avviene a 200 km di altitudine, basta raggiungere soltanto gli 11 km/sec, perché la navicella non ritorni più verso la Terra.

Se poi carichiamo il nostro cannone al massimo, in modo che il proiettile superi la velocità iniziale di 11,2 km/sec, la traiettoria di fuga si trasformerà in iperbole, che è ugualmente una curva aperta senza ritorno al luogo di partenza.

Quanto è stato esposto in modo elementare ci consente di analizzare come e perché un satellite artificiale si mantiene in orbita. Il problema maggiore da superare risiede in realtà nel sollevarlo oltre l'atmosfera fino ad un'altitudine dove l'attrito con l'aria sia minimo, onde evitare che la frizione lo freni o lo bruci.

Una volta fuori dell'atmosfera si può imprimere al razzo vettore una spinta tangenziale alla superficie terrestre, in modo da raggiungere le velocità orbitali di cui si è parlato. Sia le orbite circolari, che le paraboliche, sono molto difficili da raggiungere perché basta una piccola variazione della loro velocità per trasformarle in ellissi od in iperboli.

L'esperienza dimostra che, a causa dell'atmosfera terrestre, un satellite può mantenersi in orbita soltanto oltre i 180 km di altitudine. Ad una altitudine più bassa, l'attrito è elevato, l'orbita diventa instabile ed il satellite non giunge mai a coprire un'orbita completa. A 200 km di altitudine il satellite orbita per diversi giorni o settimane, sebbene l'atmosfera rarefatta presente a quella altitudine lo freni poco a poco, facendogli perdere lentamente quota. L'effetto di frenaggio non segue un andamento lineare, ma con i mezzi di indagine moderna è possibile prevedere al rientro il luogo preciso dell'impatto con gli strati più densi dell'atmosfera e provvedere alla ricerca di eventuali rottami residui.

A 500 km dalla superficie terrestre un satellite può orbitare una decina di anni. A 1000 km la sua vita si valuta in secoli. In ogni caso, tutti i satelliti orbitanti intorno alla Terra finiranno per subire prima o poi l'effetto frenante delle molecole dei gas componenti l'atmosfera che sono presenti anche a grandi altitudini. Alla lunga i satelliti ricadranno verso la Terra come meteore, anche se i rottami saranno rarissimi a causa della bruciatura ed evaporazione causata dall'attrito atmosferico.

Per portare un satellite in orbita nello spazio esiste un solo veicolo: il razzo, unico mezzo concepito per muoversi in un ambiente privo d'aria. Spinto dai suoi motori, il razzo, con il satellite alloggiato nell'ogiva, accelera aumentando la sua velocità, mentre fuori dell'atmosfera la sua traiettoria diviene sempre più orizzontale. Al termine della fase balistica, il vettore si sposta quasi parallelamente alla superficie terrestre. Al momento in cui il razzo avrà raggiunto la velocità necessaria per mantenersi nell'orbita voluta, i motori si fermano e, come abbiamo visto, il satellite, pur cadendo, non potrà mai raggiungere la superficie terrestre.

Perché il satellite si mantiene in orbita? La spiegazione che abbiamo dato dello "sprofondamento" progressivo della Terra sotto la traiettoria del satellite in moto serve soltanto a dare una spiegazione elementare del fenomeno, ma non fornisce una risposta rigorosa.

Questa si trova nelle leggi della gravitazione universale enunciate da Newton.

Un satellite non cade perché in ogni istante il suo peso è esattamente bilanciato dalla forza centrifuga che agisce su di lui quando esso ruota intorno alla Terra. Se il satellite pesa 50 kg (con un'attrazione cioè di 50 kg "verso il basso"), dovrà orbitare ad una velocità tale che la forza centrifuga prodotta sia esattamente 50 kg "verso l'alto".

Quanto pesa un corpo nello spazio? Ciò dipende dalla sua distanza dal centro della Terra, se questa è il riferimento. Per conoscerne il peso con esattezza bisogna applicare la formula della gravitazione universale, nota in fisica classica, che stabilisce che due corpi si attraggono reciprocamente in ragione diretta delle loro masse ed in ragione inversa del quadrato delle loro distanze.

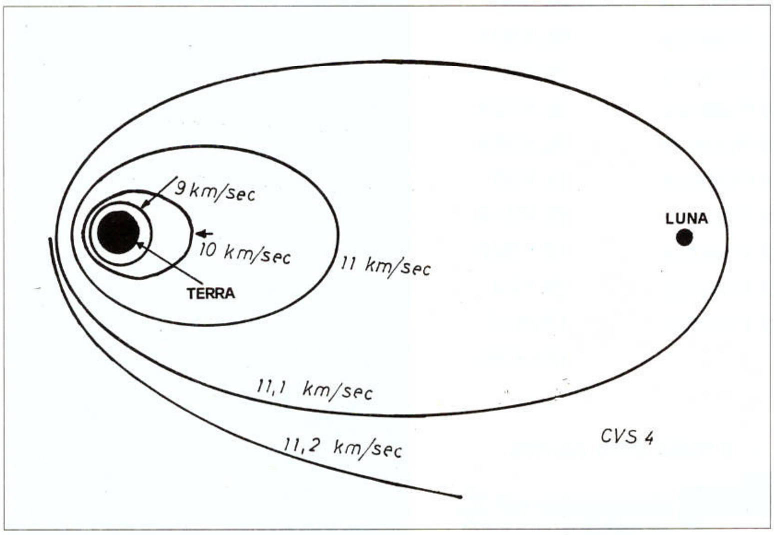


Fig. 4 - Ad un aumento progressivo della velocità iniziale di lancio corrisponde un allungamento (eccentricità) proporzionale delle orbite, fino a raggiungere il caso limite nella traiettoria di fuga parabolica a 11,2 km/sec.

Da questa legge si dimostra che la velocità (V) che deve possedere un satellite per rimanere in orbita ad un'altezza (h) al disopra della superficie terrestre è:

$$V = \sqrt{\frac{K \times M}{R + h}} \qquad (1)$$

Dove:

K = costante di gravitazione universale
M = massa della Terra
R = raggio terrestre = 6378,145 km
h = altitudine del satellite sulla superficie terrestre
$K \times M = 398601{,}2\ km^3\ sec^{-2}$

Ecco dunque il risultato sorprendente: la velocità che si deve imprimere al satellite perché si mantenga in orbita dipende soltanto dalla sua altitudine (h). Se situati alla medesima altezza, due satelliti, uno del peso di 500 grammi ed un altro di 5 tonnellate, dovranno essere immessi in orbita alla medesima velocità.

Nella formula (1) infatti l'unica variabile che determina (V) è solo l'altezza (h) perché gli altri valori della formula sono solo delle costanti.

E' ovvio che più il satellite pesa, più energia occorrerà per conferirgli quella velocità (V), ma indipendentemente dal peso, ogni altitudine possiede una ben definita velocità orbitale, indipendente dal peso del satellite.

Dalla formula (1) risulta che per un'altitudine di 220 km la velocità orbitale è circa 7,8 km/sec. A 1000 km la velocità corrispondente ad un satellite in orbita circolare scende a 7,4 km/sec. A 10.000 km di altitudine la velocità (V) scende a 4,9 km/sec.

Dunque, più è alta la quota del satellite, tanto minore sarà la velocità necessaria perché il satellite si mantenga in orbita.

Il limite massimo delle altezze orbitali terrestri è circa 1.800.000 km dalla Terra. Oltre questo limite l'attrazione del Sole predomina su quella della Terra e così il satellite si metterà a ruotare intorno al Sole anziché intorno alla Terra.

Se al momento di essere immesso in orbita terrestre la componente orizzontale della velocità del satellite è superiore alla velocità minima richiesta, l'orbita passerà da circolare ad ellittica.

La traiettoria sarà tanto più allungata e l'eccentricità tanto maggiore, quanto maggiore sarà la velocità acquistata rispetto a quella minima richiesta per un'orbita circolare, fino al caso limite in cui l'orbita si trasformerà per il satellite in una parabola senza ritorno sulla Terra .

Nella prossima puntata ripeteremo l'esempio del tiro con il cannone sulla montagna, ma usando le formule della gravitazione universale, ottenendo risultati più rigorosi e precisi; tuttavia l'esempio che abbiamo qui presentato offre un semplice modo di interpretare e capire il perché un satellite resta in orbita, cosa generalmente poco chiara alla maggior parte della gente.

Per approfondire l'argomento si consiglia la consultazione dei testi di cui alla seguente bibliografia.

Satellite Tracking - Stanley J. Macko - John F. Rider Publisher, Inc. 116 W. 14th Street, New York 11, NY - Catalog number 289 Rider.

Astronomia Pratica - Wolfgang Schroeder - Edizioni Longanesi e Co. 20122 Milano, via Borghetto 5 - Guide pratiche n. 18.

I satelliti artificiali - Istituto Geografico De Agostini SpA Novara - Catalogo n. 28321.

Il volo spaziale - Cesare Cremona - ERI Classe Unica, n. 82 - Edizioni RAI, Radiotelevisione italiana - via Arsenale 41 Torino, seconda edizione.

Il moto dei corpi celesti - Antonio Leone - ISBN 88-7021-193-2 - Franco Muzio e Co. Editore, Padova.

Name	Epoch	INCL	RAAN	ECCY	ARGP	MA	MM	DECY	REVN
#OSCAR-9	89065.06540	97.57	113.04	0.0002	127.85	232.31	15.46358	4.8E-4	41298
#OSCAR-10	89062.72138	26.61	277.23	0.6061	22.20	355.73	2.05889	1.0E-8	4304
#OSCAR-11	89062.60860	98.01	124.44	0.0012	295.80	64.18	14.63074	2.4E-5	26710
#OSCAR-12	89038.07742	50.01	338.27	0.0011	13.55	346.56	12.44397	-2.5E-7	11320
#OSCAR-13	89040.26552	57.36	220.44	0.6656	198.63	115.56	2.09697	1.6E-7	505
#RS-10/11	89065.93020	82.92	313.70	0.0011	343.11	16.96	13.71948	1.3E-6	8537
#MIR	89058.55936	51.62	195.29	0.0009	64.85	295.46	15.68788	3.2E-4	17405
#SALYUT-7	89058.52155	51.61	133.03	0.0001	21.81	338.33	15.37891	1.4E-4	39129
#AJISAI	89038.17532	50.01	337.76	0.0011	16.58	343.54	12.44375	-3.3E-7	11322
#COS-1984	89019.40372	62.82	186.22	0.0062	117.76	243.13	16.25470	1.5E-2	5424
#COS-1986	89030.04555	64.76	165.72	0.0036	181.28	178.80	16.14732	2.3E-3	5107
#MET-2/14	89041.84631	82.53	346.87	0.0015	10.39	349.75	13.83848	2.5E-6	13698
#MET-2/15	89036.98407	82.46	259.01	0.0012	271.88	88.08	13.83664	3.0E-6	10547
#MET-2/16	89056.02151	82.56	308.42	0.0012	144.79	215.41	13.83433	4.4E-6	7700
#MET-2/17	89056.99603	82.54	8.91	0.0016	218.79	141.21	13.84101	3.3E-6	5430
#MET-3/1	89039.65228	82.55	326.63	0.0018	260.76	99.14	13.16859	4.3E-7	15860
#MET-3/2	89056.61020	82.54	254.61	0.0017	98.44	261.85	13.16855	3.9E-6	2822
#NOAA-9	89054.89618	99.14	39.69	0.0014	271.75	88.21	14.11854	1.9E-5	21646
#NOAA-10	89056.56137	98.65	89.13	0.0013	210.83	149.22	14.22837	8.8E-6	12806
#NOAA-11	89040.27280	98.93	345.00	0.0011	233.39	126.63	14.10801	6.2E-6	1943

Elementi kepleriani dei satelliti radiantistici e meteorologici

Domenico Marini - I8CVS
Via A. De Gasperi 131 - 80050 Torre del Greco NA

Astronautica... facile

parte 2ª

Perché i satelliti artificiali si mantengono in orbita nello spazio?

Nella puntata precedente abbiamo affrontato il problema in modo intuitivo. Ora analizzeremo il fenomeno con più rigore scientifico, infatti una delle domande che viene posta più frequentemente a proposito dei satelliti artificiali è la seguente: Cosa è che li fa stare in orbita nello spazio e perché questi non cadono sulla terra?

La risposta è che il satellite è in continua caduta verso la terra, caduta che dura per tutta la vita del satellite.

Per chiarire questo concetto, immaginiamo di essere in cima ad una mostruosa e immaginaria montagna alta 200 km come in fig. 1.

Per semplicità consideriamo che la terra sia una sfera ideale e togliamo l'atmosfera.

Se qualcuno che si trova alla sommità di questa montagna sparasse un proiettile parallelamente alla superficie della terra alla velocità orizzontale, per esempio, di 2 km/sec. e se la terra non possedesse alcuna forza di gravità, il proiettile continuerebbe la sua traiettoria in linea retta indefinitamente (fig. 1).

In realtà l'attrazione terrestre fa sì che il proiettile perda costantemente altezza e ricada sulla terra dopo un certo tempo (t), fig. 1.

Questa perdita di altezza può essere calcolata esattamente con la seguente semplice formula che si studia nella meccanica in fisica.

$$h = \frac{1}{2} g\ t^2 \qquad (A)$$

dove:
h = altezza in metri
g = accelerazione di gravità = 9,81 m/sec^2
t = tempo in secondi

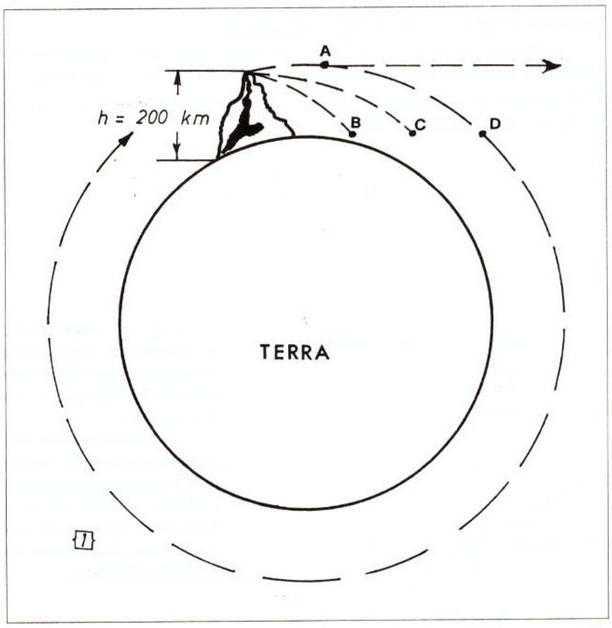


Fig. 1 - La montagna immaginaria alta sulla terra 200 km mostra la traiettoria che un proiettile assumerebbe se sparato a diverse velocità A-B-C-D. La traiettoria A è quella che si avrebbe se la terra fosse priva di forza gravitazionale.

La cosa importante da capire è che se il proiettile viene fatto semplicemente cadere verticalmente da 200 km di altezza, questo scenderà di una certa quantità di km che aumenta col quadrato del tempo (t) di caduta.

Se invece di fare cadere verticalmente il proiettile, imprimiamo allo stesso una certa velocità orizzontale (V), il proiettile cadrà più lontano dalla montagna, ma nello stesso tempo (t) questo sarà sceso della stessa quantità di km come se fosse stato lasciato libero di cadere verticalmente (fig. 1).

Per determinare il percorso in km che il proiettile compie in un certo tempo facendolo semplicemente cadere verticalmente dalla montagna, si può mettere arbitrariamente nella formula (A) qualunque numero che esprime il tempo (t) in secondi che dura la caduta.

Si otterrà così una tabella della distanza verticale che il proiettile percorre in questi tempi. Vediamo ad esempio di quanti km cade il proiettile nei tempi di 50-100-150-202 secondi, secondo la tabellina che segue calcolata con l'uso della formula (A).

t sec.	t^2	$h = 0,5 \times 9.81 \times t^2$ km
50	2500	12,2
100	10.000	49
150	22.500	110
202	40.804	200

Dunque, in 50 secondi il proiettile cade di 12,2 km e in 202 secondi il proiettile cade completamente della stessa altezza della montagna, ossia di 200 km. E' molto interessante notare che siccome nella formula (A) il tempo è espresso al quadrato, ogni volta che si raddoppia il tempo (t) di caduta, si quadruplica l'altezza (h) da cui il proiettile cade verso la terra.

E' anche da notare che nell'equazione (A) non viene considerato il peso del proiettile e così le distanze (h) che questo percorre cadendo nel tempo (t) sono le stesse sia che il proiettile pesi un grammo che dieci tonnellate.

Ciò fu messo in evidenza già da Galileo nei celebri esperimenti sulla caduta dei gravi dalla torre di Pisa.

E' anche da notare che nella formula (A) non figura la velocità orizzontale impressa al proiettile e perciò questo, nel tempo (t) preso in considerazione, cade verso la terra degli stessi metri sia che venga fatto semplicemente cadere verticalmente oppure che sia sparato orizzontalmente alla velocità, per esempio, di 2 km/sec. come illustrato in fig. 2.

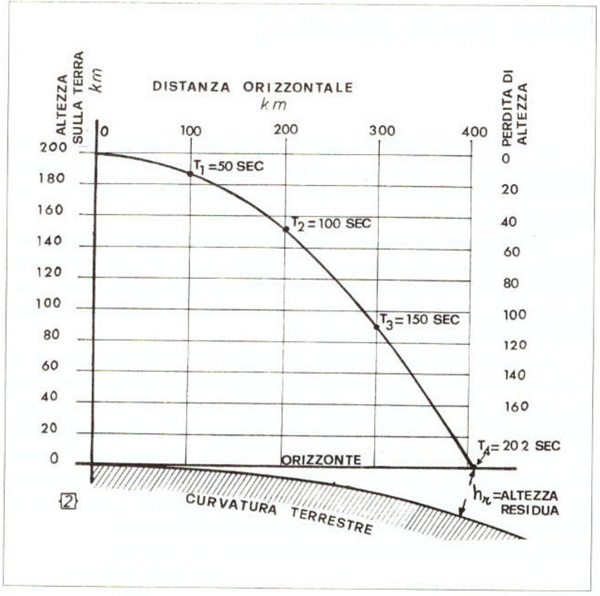
In questo esempio comunque, il proiettile non viene fatto cadere semplicemente dalla montagna bensì è sparato parallelamente alla superficie terrestre alla velocità di 2 km/sec.

Se vogliamo determinare la distanza (d) che il proiettile percorre nel tempo a causa della sua velocità iniziale di 2 km/sec. durante i tempi di 50-100-150-202 secondi, possiamo usare la seguente semplice formula:

$$d = V \cdot t \qquad (B)$$

dove: d = distanza in metri
V = velocità in metri al secondo
t = tempo in secondi.

Fig. 2 - Traiettoria di un proiettile sparato orizzontalmente da un'altezza di 200 km con una velocità di 2 km/sec, parallelamente alla superficie terrestre. Nel tempo T4 di 202 secondi il proiettile avrà perduto tutti i 200 km di altezza da cui è stato sparato, ma a causa della curvatura terrestre esso è ancora in volo. Infatti il proiettile prima di toccare terra deve percorrere ancora una certa distanza residua (hr).



Applicando la formula (B) le distanze orizzontali percorse dal proiettile nei tempi di 50 - 100 - 150 - 202 secondi sono le seguenti:

t (sec.)	d (km)
50	100
100	200
150	300
202	404

La distanza orizzontale coperta (d) può essere ora messa in grafico sull'ascissa e parametrata alla perdita di altezza sull'ordinata a causa della forza di gravità, così come illustrato in fig.2

Il grafico di fig. 2 mostra infatti l'esatta traiettoria che il proiettile seguirà se sparato in linea retta alla velocità di 2 km/sec. da un'altezza di 200 km. Il diagramma rappresenta la traiettoria del proiettile e ci mostra che essa è una parabola. Nel punto del tempo t4 = 202 secondi, il proiettile avrà perduto tutti i 200 km di altezza della montagna ma, cosa importante, a causa della curvatura della superficie terrestre esso è ancora in volo nello spazio come si può vedere dalla fig. 2. Infatti il proiettile per toccare terra deve percorrere ancora una certa distanza residua (hr).

Se ora il proiettile viene sparato a una velocità doppia, ossia di 4 km/sec. la distanza orizzontale che esso percorre nel tempo che impiega a cadere di 200 km, cioè nel tempo di 202 secondi sarà:

$$d = v \cdot t = 4000 \text{ m/sec} \times 202 \text{ sec} = 808000 \text{ metri} = 808 \text{ km}$$

e la traiettoria che seguirà il proiettile è mostrata in fig. 3.

Come si può vedere, nel grafico di fig. 3 il proiettile cade più lontano nella direzione orizzontale e si può osservare che la curvatura terrestre o "affossamento della curvatura terrestre" è tanto più grande per quanto maggiore è la distanza coperta dal proiettile in quei famosi e costanti 202 secondi che esso impiega a cadere verso la terra da un'altezza di 200 km.

Se la velocità del proiettile viene aumentata a 8 km/sec. usando lo stesso procedimento di calcolo, che si omette per brevità, la distanza orizzontale che esso percorre sarà pari a 1616 km.

In questo caso si può calcolare che la caduta verticale del proiettile in 202 secondi è esattamente uguale all'infossamento dovuto alla curvatura terrestre per la quale l'altezza residua (hr) a cui si trova il proiettile è proprio di 200 km, cosicché questo pur cadendo si trova sempre e continuamente ad un'altezza costante dalla terra.

Se la terra fosse senza atmosfera, che produce un'attrito, il proiettile viaggiante alla velocità di 8 km/sec., che è ora un satellite artificiale, girerebbe intorno alla terra per sempre.

In queste condizioni per mantenere in orbita il satellite non è più necessario impartirgli energia, tranne quella iniziale, per portarlo alla velocità di 8 km/sec. Solo in questa fase l'energia iniziale è direttamente proporzionale al peso del satellite.

L'altezza residua (hr) in funzione della distanza orizzontale coperta dal proiettile che cade da un'altezza di 200 km in un tempo di 202 secondi può essere calcolata col seguente procedimento (vedi fig. 4 nella pagina accanto).

$$h_r = Y - R = \sqrt{R^2 + d^2} - R$$

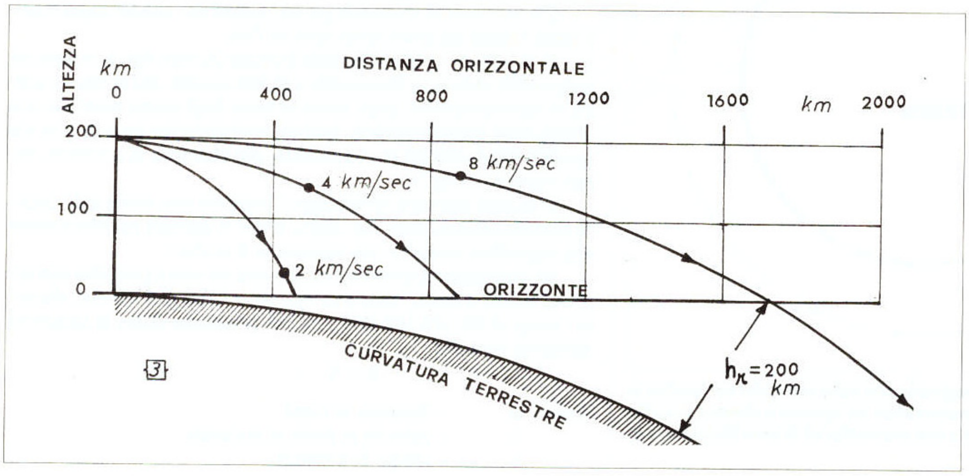
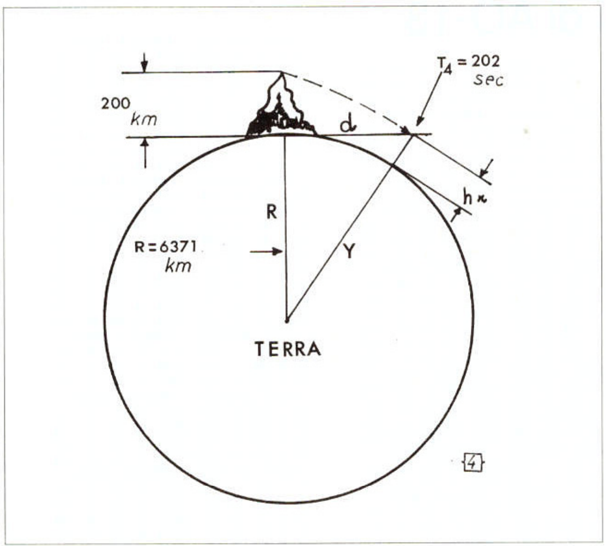


Fig. 3 - L'altitudine e la distanza di un proiettile in funzione del tempo con velocità iniziali di 2, di 4 e di 8 km/sec.

Alla velocità di 8 chilometri al secondo la perdita di altezza equivale all'altezza residua (hr) ed il proiettile non ricade più sulla terra, diventando un satellite artificiale.



Supponiamo che la velocità del proiettile sia di 8 km/sec. Siccome la distanza orizzontale (d) percorsa in 202 secondi è di 1616 km si otterrà:

$$h_r = \sqrt{6371^2 + 1616^2} - 6371 = 200 \text{ km}$$

ossia l'altezza residua hr è prorio l'altezza della montagna che diventa l'altitudine orbitale del proiettile ormai considerabile un satellite artificiale.

Si spera così di aver chiarito uno dei punti più oscuri per l'OM dedito ai satelliti artificiali pur avendo fatto ricorso a paragoni poco ortodossi e talvolta poco rigorosi, ma questo è lo scotto che bisogna pagare per illustrare in modo semplice delle cose complicate e ciò, scuserete, fa parte dei rischi della divulgazione.

Fig. 4 - Calcolo dell'altezza residua hr partendo dal raggio terrestre R e dalla distanza d = 404 km coperta dal proiettile viaggiante alla velocità di 2 km/sec nel tempo di 202 secondi.

$$h_r = Y - R = \sqrt{R^2 + d^2} - R$$

$$h_r = \sqrt{6371^2 + 404^2} - 6371 = 12{,}8 \text{ km}$$

Ancora sul Progetto ITAMSAT

Domenico Marini - I8CVS

Com'è noto l'AMSAT-Italia e l'A.R.I. hanno stipulato un accordo di assistenza tecnica con l'AMSAT-NA (North America) per la costruzione del primo satellite digitale italiano della serie MICROSAT.

Secondo i piani, il modello a terra dovrebbe essere approntato entro luglio 1989 mentre l'esemplare di volo entro aprile 1990.

Questo satellite ospiterà anche un interessante esperimento completamente italiano, ossia un transponder analogico con banda passante di 40 kHz, dotato di tre canali FI con AGC separato e affiancati fra loro secondo un noto progetto di I5TDJ già sperimentato in sei voli transmediterranei su palloni stratosferici del SAS.

Per realizzare questo satellite, denominato ITAMSAT, l'AMSAT-Italia e l'A.R.I. hanno ricevuto notevoli fondi economici dovuti a sponsorizzazioni di ditte italiane ed estere. Quello che ora manca ed occorre realizzare in fretta sono dei gruppi di lavoro che abbiano la competenza di effettuare realizzazioni su circuiti radioelettronici destinati all'uso spaziale. Il progetto e il Know-how del satellite ITAMSAT sono interamente di provenienza AMSAT-NA e di questo satellite si hanno gli schemi elettrici, i disegni costruttivi, i circuiti stampati, le parti meccaniche e quanto altro occorre alla sua realizzazione. Il tutto è ovviamente di fornitura americana. Il problema italiano è dunque quello di mettere mano su questa documentazione e su questi materiali per assemblarli, sia per realizzare il modello a terra che l'esemplare di volo.

Ciò consentirà ai vari gruppi di lavoro di acquisire nel tempo una notevole esperienza nel campo della radioelettronica per uso spaziale e ci permetterà di allinearci ai nostri colleghi dell'AMSAT-NA, dell'AMSAT-DL e dell'AMSAT-UK. Per costituire i gruppi di lavoro occorrono radioamatori che abbiano un notevole spirito di collaborazione per realizzare il lavoro in equipe.

Questi radioamatori devono essere dotati inoltre delle opportune e solide conoscenze tecnologiche di manipolazione di componenti destinati all'uso aerospaziale.

Occorrono in breve degli esperti nel campo della radioelettronica allo stato dell'arte e siamo certi che in Italia esiste già un discreto gruppo di OM che opera in industrie che lavorano per la costruzione di satelliti artificiali nell'ambito dell'ESA.

Nel nostro paese esiste almeno una dozzina di industrie che operano come "subcontractors" dell'ESA e che impiegano radioamatori a tempo pieno.

Rivolgiamo un appello a tutti i radioamatori italiani che sono nelle condizioni di partecipare al progetto ITAMSAT di farci pervenire una loro adesione.

Il progetto è finanziato da enti che fanno da sponsor, per cui esiste un budget di spesa per la realizzazione del satellite che permetterà di coprire i necessari oneri che i partecipanti al progetto dovranno sostenere per coprire gli spostamenti e le spese di soggiorno in Italia ed eventualmente all'estero.

Con l'augurio di una fattiva collaborazione si prega di inviare le proprie adesioni accompagnate da un dettagliato curriculum professionale al Project Manager ITAMSAT I2KBD ing. Alberto Zagni - Via Giusti 15 - 20090 Rodano (MI).

Bande riservate al Servizio di amatore via Satellite

Si invitano gli OM tutti ad evitare di effettuare traffico FM simplex o via ripetitore nelle sottobande 144.800 - 146.000 MHz e 435.625 - 436.000 MHz.

In queste bande infatti opera il satellite OSCAR-13 in modo B e modo JL. I segnali emessi dal satellite sono deboli e non possono essere ricevuti da apparecchiature FM.

Tante volte mi capita di sentire QSO locali in FM su 436.000 MHz che desensibilizzano qualunque ricevitore sintonizzato 50 kHz più in basso per lavorare OSCAR-13 in modo J.

Anziché usare 436.0 MHz per QSO locali in FM è molto più logico allocarsi nei canali FM simplex predisposti da 433.800 a 434.000 MHz.

Si ringrazia per la collaborazione nell'interesse e nel rispetto di tutti i Servizi come previsto dal Band Plan della IARU, da quello nazionale e dallo Ham Spirit.

Le frequenze operative del satellite OSCAR-13 sono pubblicate su Radio Rivista 6/88 pag. 97.