

Zeitschrift: Rivista militare della Svizzera italiana
Herausgeber: Lugano : Amministrazione RMSI
Band: 32 (1960)
Heft: 5

Artikel: Scienza e militare : i concetti fondamentali della missilistica e dell'astronautica
Autor: F.G.B.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-245221>

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: 19.02.2026

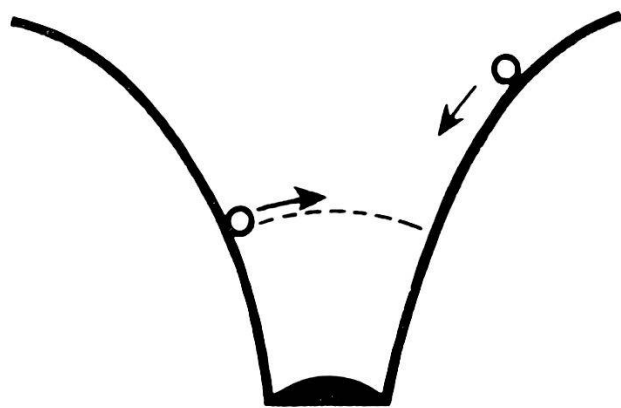
ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

I concetti fondamentali della missilistica e dell'astronautica *)

di F. G. B.

II. Gravitazione, orbite e traiettorie sinergiche

Immaginiamo un biliardo perfettamente liscio e piano e, su di esso, una palla in moto: è intuitivo che la palla procederà in linea rigorosamente retta a velocità costante (tralasciamo ogni considerazione d'attrito o resistenza dell'aria). Immaginiamo ora un biliardo



con una profonda buca al centro, a guisa di pozzetto con la forma di un imbuto curvo, dalle pareti dapprima pressochè verticali, poi sempre più svasate fino a raggiungere quasi l'orizzontale verso i bordi. Una palla abbandonata sulla slabbatura si metterà a rotolare verso il centro, all'inizio lentamente poi sempre più rapida, sin che cadrà sul fon-

do del pozzetto con velocità massima. Se invece di posare semplicemente la palla sulla slabbatura, le imprimiamo un moto circolare,

*) Seguito al fascicolo maggio/giugno 1960, pag. 109 sgg.

essa cadrà sì nella buca, ma seguendo una spirale. Più forte sarà la spinta tangenziale impressa alla palla, più la spirale avrà le proprie spire serrate e più saranno numerosi i giri della palla prima che questa tocchi il fondo. E' evidente che vi deve essere una velocità determinata, in cui la spirale chiuderà le sue spire in un vero cerchio, la spinta tangenziale essendo divenuta tale che la forza centrifuga, la quale sollecita la palla, equilibri la sua tendenza a cadere sul fondo: la palla cioè continuerà a girare torno torno al pozzetto all'altezza in cui l'abbiamo posta in moto, senza mai cadere; essa, cioè, descriverà una vera orbita. E' intuitivo che più l'orbita sarà stabilita verso il centro della buca, più la **velocità orbitale** dovrà essere elevata. L'orbita poi non ha bisogno di essere perfettamente orizzontale, può anche essere inclinata rispetto all'asse del pozzetto, la palla scendendo da un lato più verso il fondo e risalendo dall'altro: in questo caso particolare la velocità cresce quando la palla percorre il ramo discendente e diminuisce quando la palla risale il ramo ascendente, sarà massima al punto più basso, più vicino al centro (il **pericentro**) e sarà minima al punto più lontano (l'**apocentro**). Tutta questa descrizione è, supponiamo, di una chiarezza quasi lapalissiana. Pensiamo ora ad un caso un po' più complicato, sempre servendoci del nostro modello del biliardo a pozzetto centrale. Se a una palla stabilita in orbita nel pozzetto imprimiamo una spinta aggiuntiva, è chiaro che la palla tenderà a salire lungo le pareti del pozzetto e, ove la spinta risulti troppo forte schizzerà via addirittura dal biliardo: avrà cioè passato la gamma delle velocità orbitali e raggiunto quella di **liberazione**. Quest'ultima velocità è quella necessaria per risalire dalla quota orbitale, lungo le pareti del pozzo, fino all'orizzontale; essa è palesemente equivalente a quella che la palla acquisterebbe cadendo dall'esterno della slabbratura fino alla quota orbitale in questione. Vi è naturalmente anche una velocità di liberazione dal fondo della buca, ovviamente maggiore di quella a partire da un'orbita, e sarà quella necessaria alla palla per risalire, dal fondo, tutto il pozzetto; anche questa evidentemente equivale alla velocità che la palla avrebbe quando arrivasse sul fondo dopo esservi rotolata dall'estremo della slabbratura.

Questo gran discorrere di palle di biliardo e di pozzi s'è fatto nell'intento d'introdurre, in maniera piana, i concetti necessari a discutere delle orbite e dei viaggi delle cosmonavi. E' superfluo aggiungere che il biliardo rappresenta **lo spazio del sistema solare**: quello piano rappresenterebbe lo spazio ipoteticamente vuoto, senza cioè nè Sole, nè pianeti, nè satelliti, che un corpo attraverserebbe in linea retta, con moto uniforme. Il biliardo con il pozzetto al centro rappresenta lo spazio popolato dal Sole. Occorre qui specificare meglio il modello. L'imbuto rappresenta la **forza gravitazionale** del Sole che attira a sè gli altri corpi; anzi la rappresentazione è più vicina di quel che non si creda alla realtà, chè la teoria della relatività insegna che la **forza di gravitazione incurva realmente lo spazio**. La pendenza delle pareti, quasi verticale al centro e poi, via via, tendente all'orizzontale, rappresenta l'**andamento di quella forza**, inversamente proporzionale alla distanza. Il fondo del pozzetto rappresenta **la superficie del Sole**. La profondità della buca simboleggia l'**intensità dell'attrazione**, direttamente proporzionale alla massa del corpo, nel nostro caso del Sole: Un masso abbandonato immobile ai bordi di questo sistema solare si muoverebbe con moto accelerato verso il Sole e finirebbe per cadervi sopra alla **velocità di 618 chilometri al secondo**. Questa è dunque anche la **velocità di fuga dal Sole** a partire dalla superficie. Lo stesso masso cui noi avessimo impresso, abbandonandolo ai bordi del sistema solare, un'insufficiente velocità tangenziale, cadrebbe sul Sole spiralandolo. Come s'è visto sopra per la palla, col crescere della velocità tangenziale la spirale tende a chiudere le sue spire in un solo cerchio e il nostro masso non cadrà più sul Sole, ma si metterà in **un'orbita circumsolare**. Naturalmente più l'orbita sarà vicina al Sole e più dovrà essere grande la velocità orbitale. Di questi massi in orbita attorno al Sole ce ne sono parecchi e i più importanti sono evidentemente i pianeti. La legge delle velocità orbitali vale naturalmente anche per essi, cosicchè abbiamo (elencandoli dal più vicino al più lontano): **Mercurio**, che deve girare attorno al Sole — per non cadervi sopra, nè sfuggirlo — con velocità

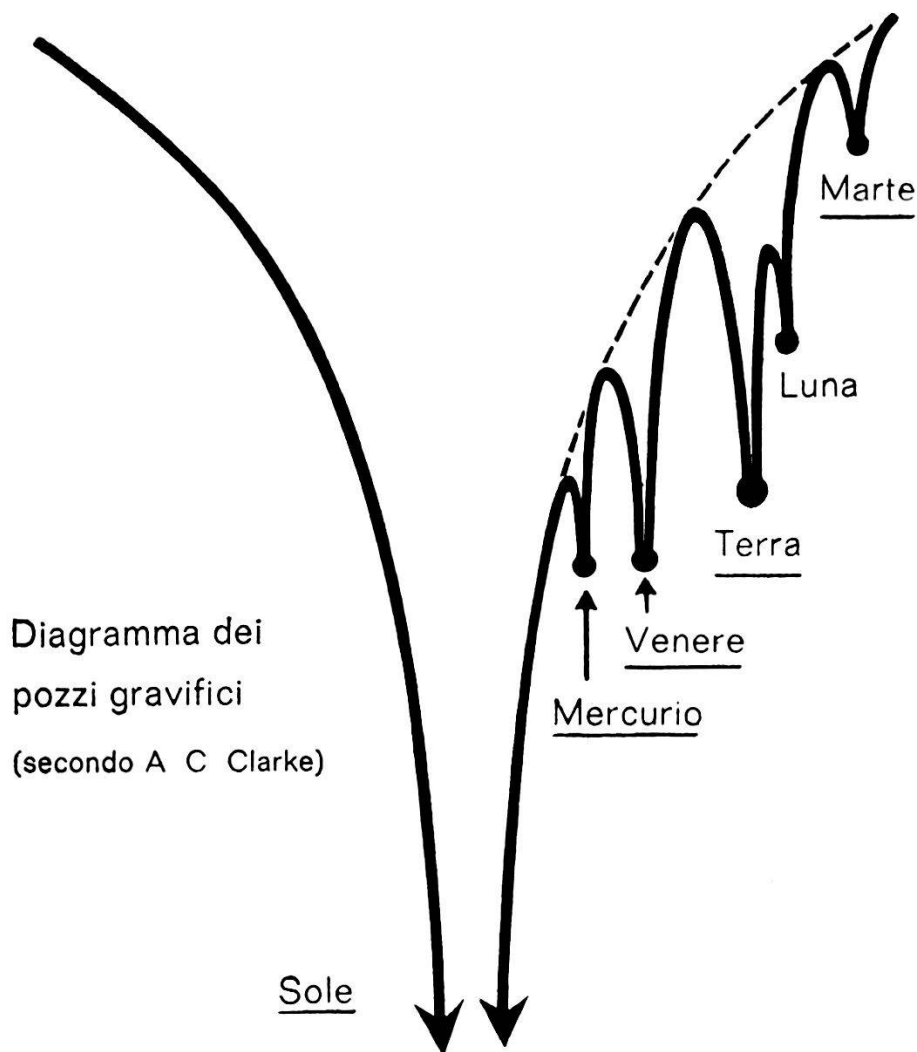
orbitale di 47,5 chilometri al secondo; **Venere**, 34,7 km/sec; **Terra**, 29,6 km/sec; **Marte**, 24 km/sec; **Giove**, 13 km/sec; **Saturno**, 9,6 km/sec; **Urano**, 6,7 km/sec; **Nettuno**, 5,4 km/sec; **Plutone**, 4,8 km/sec.

Dicemmo che l'orbita può anche essere obliqua, avvicinandosi da un lato e dall'altro allontanandosi dal centro; in tal caso essa non è più un cerchio, ma un'elisse. Orbene anche le orbite planetarie sono, per così dire, oblique per entro il pozzo gravifico del Sole ed hanno figura d'elissi di cui il Sole occupa uno dei fuochi. In queste orbite v'è ovviamente un punto più vicino al sole (**perielio**) e un punto più lontano (**afelio**). Quando un corpo in orbita va dall'afelio al perielio esso aumenta di velocità; diminuisce invece quando va dal perielio all'afelio. Ciò si capisce, sol che si pensi che dal perielio all'afelio il corpo risale il pozzo gravifico, perdendo costantemente velocità, raggiunge l'afelio con velocità minima (è infatti il punto gravitazionalmente più alto dell'orbita) poi ricade lungo il pozzo gravifico fino al perielio (punto gravitazionalmente più basso), che passa a velocità massima. (Per questa ragione le velocità orbitali date sopra per i diversi pianeti sono velocità medie).

* * *

E' chiaro che non soltanto il Sole ha il suo pozzo gravifico, sulle cui pareti, ad altezze differenti i pianeti percorrono orbite di ampiezza crescente e di velocità orbitale decrescente, ma anche ogni pianeta (anzi ogni corpo) possiede il proprio pozzo gravifico. Quello della Terra (di forma analoga) è infinitamente meno profondo di quello del Sole e un corpo che vi cadesse dentro raggiungerebbe solo gli **11,2 km/sec**, che non è poi altro se non la velocità di liberazione dal nostro pianeta a partire dalla superficie. La Luna ha un pozzetto gravifico ancor meno accentuato, dal quale è agevole uscire: **2,4 km/sec**. Ma, a parte la differenza di profondità, i principi sono esattamente gli stessi. Attorno alla Terra, già nella parte incurvata della slabbratura del pozzo gravifico si trova l'orbita della Luna, cui basta una velocità di **1,03 km/sec** per non caderci addosso. Vicinissimi alla Terra ruotano i satelliti artificiali, che, trovandosi sulla parte del pozzo gravifico a pareti quasi verticali, abbisognano di velocità ben

maggiori per non ricadere (un satellite a 250 km dalla superficie abbisogna, per esempio, di una velocità orbitale di ben 7,7 km/sec). Naturalmente anche le orbite circumterrestri non sono perfettamente circolari, bensì ellittiche, con un punto più vicino alla Terra (**perigeo**) e uno più lontano (**apogeo**). Anche qui il corpo orbitante (il satellite)



aumenta di velocità dall'apogeo al perigeo e diminuisce da questo a quello. Anche qui all'apogeo passa con velocità minima, avendo consumato la sua foga nel salire il pozzo gravifico terrestre e passa a velocità massima al perigeo per la ragione contraria. Questo schema si ripete per tutti i pianeti del sistema solare e per i loro satelliti, cosicchè possiamo immaginarci il sistema solare, dal punto di vista della

gravitazione, come un pozzo centrale (quello gravifico del Sole) sulla cui slabbratura s'aprono 9 pozzetti (quelli dei pianeti), i quali a loro volta comportano dei pozzetti più piccoli (quelli dei loro satelliti). In sezione avremo dunque press'a poco la figura indicata qui sopra, la quale arriva solo fino a Marte (il pozzo successivo, di Giove, risulterebbe assai profondo, così pure per Saturno; minori i pozzi degli altri pianeti esterni).

* * *

Come si presenta allora il problema dei viaggi spaziali? Innanzi tutto di acquistare una sufficiente velocità per uscire dal pozzo gravifico della Terra, poi di aggiungere altra velocità al veicolo per spostarsi adeguatamente lungo la slabbratura del pozzo gravifico solare, fino a imboccare l'imbuto gravifico del pianeta scelto come meta del viaggio, per, infine, lasciarsi cadere su di esso frenando adeguatamente.

Questo lo schema di base. Per intenderne la realizzazione ripensiamo alla palla di biliardo in orbita entro la buca: se le imprimiamo una spinta tangenziale suppletiva, la palla tenderà a salire lungo le pareti della buca. Sostituiamo alla palla una cosmonave ed alla buca del biliardo il nostro sistema di pozzi gravifici: se alla cosmonave si sarà impresso la velocità di 11,2 km/sec, che è la velocità d'uscita dal pozzo gravifico terrestre, la velocità di liberazione, essa si muoverà come un corpo celeste attorno al Sole, fuori bensì dal pozzo gravifico della Terra, ma non già da quello centrale del Sole. Praticamente percorrerà (a motori spenti, inerte naturalmente come ogni corpo celeste) una propria orbita circumsolare non molto distante da quella della Terra. Se ora accendiamo per pochi minuti i motori, imprimendo alla cosmonave un supplemento tangenziale di velocità orbitale, il veicolo si comporterà esattamente come la palla del biliardo e tenderà cioè a salire lungo il pozzo gravifico del Sole; essa cioè si allontanerà verso un afelio determinato dall'incremento di velocità ricevuto. Nel far ciò salirà lungo il pozzo gravifico solare perdendo costantemente velocità, cosicchè, a un certo punto, raggiunto l'afelio a velocità minima, imprenderà a ricadere lungo il pozzo verso il perielio. Cadendo aumenterà la velocità e passerà perciò al perielio, situato

sulla sua vecchia orbita, con velocità troppo forte per restarvi, tenderà pertanto a ripartire verso l'afelio. L'orbita cioè si sarà fatta fortemente ellittica, con perielio su quella originaria e afelio molto più esterno sulla slabbratura del pozzo gravifico solare. Quanto più forte sarà stato l'incremento di velocità dato alla cosmonave, tanto più allungata sarà la nuova ellisse orbitale e tanto più esterno il nuovo afelio. Ricordiamo che in tutto e per tutto i motori sono accesi solo per il brevissimo tempo necessario a dare l'incremento tangenziale di velocità, poi restano sempre spenti. Non è necessario affatto dare una spinta verso l'afelio, basta soltanto aumentare di tanto la velocità orbitale per essere sicuri di toccare un certo afelio: ad ogni incremento di velocità corrisponde un afelio determinato. Il volo è poi interamente libero, inerte, a motori spenti. (S'insiste su questo punto, perchè sovente s'odono pseudoragionamenti che mettono innanzi le enormi distanze dei voli cosmici come difficoltà insormontabili, mentre invece, infilata un'orbita adeguata, non c'è proprio più nulla da fare se non lasciarsi trasportare gratuitamente!). E' questo il volo **sinergico**, retto dalle leggi del moto dei corpi celesti.

* * *

Al lume delle considerazioni fatte, è ora possibile descrivere adeguatamente un viaggio verso Marte e ritorno. Il problema fondamentale sarà di imprimere alla cosmonave, in orbita circumsolare, un incremento di velocità, tale che il nuovo afelio si trovi sull'orbita marziana.

Ma descriviamo le cose più per minuto:

Con una spinta di 11,2 km/sec, abbiamo liberato la nostra cosmonave dal pozzo gravifico della Terra e siamo in un'orbita circumsolare praticamente coincidente con quella del nostro pianeta;

accendiamo ora (cioè in un momento preciso, caratterizzato da adeguate posizioni di Terra e Marte) i motori in modo da imprimere un supplemento di velocità orbitale di 3,03 km/sec.: la cosmonave comincerà ad allontanarsi dal Sole, percorrendo una nuova orbita più fortemente ellittica che avrà il suo afelio precisamente sull'orbita di Marte; percorrendo il ramo d'orbita verso l'afelio perde continuamente velocità, chè risale il pozzo, cosicchè arriverà nei pressi del-

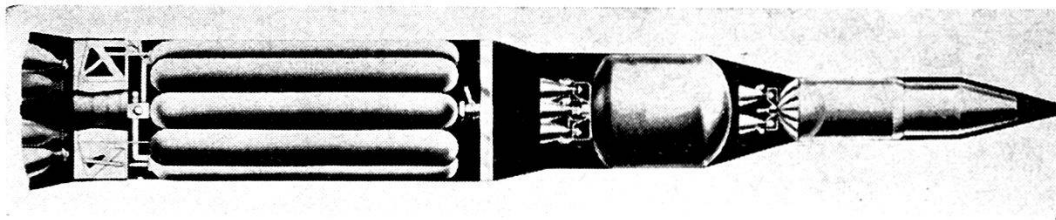
l'afelio con velocità troppo bassa per restare su quell'orbita e tenderà a ricadere verso il perielio sull'orbita primitiva. Per restare sull'orbita di Marte bisognerà dunque accendere di nuovo i motori per incrementare nuovamente la velocità di 2,55 km/sec. Così, raggiunta la velocità orbitale di 24 km/sec. potrà restare sull'orbita marziana.

In pratica si provvederà, determinando accuratissimamente il momento della partenza, ad arrivare all'afelio, sull'orbita marziana, proprio quando Marte passa nei pressi di quel punto, in modo di farsi accelerare gratuitamente dall'attrazione stessa del pianeta cadendo cioè entro il suo pozzo gravifico. Siccome poi Marte ha atmosfera, l'impatto potrà essere frenato aerodinamicamente.

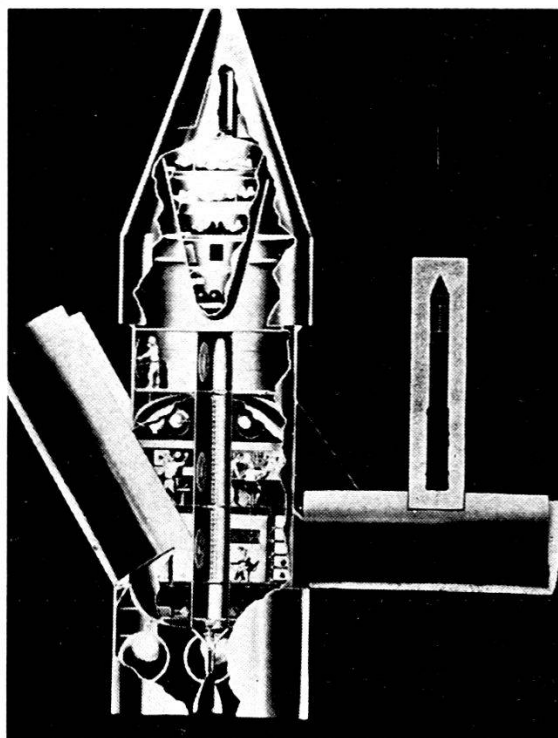
Per tornare da Marte sulla Terra il procedimento è esattamente reciproco. Bisogna, prima di tutto, risalire il pozzetto gravifico marziano; cosa facile, chè basta una spinta di 5 km/sec. Allora la cosmonave viene a trovarsi di nuovo sul pozzo gravifico centrale del Sole, entro cui si muove su un'orbita praticamente vicina a quella di Marte. Per scendere sull'orbita terrestre bisognerà questa volta frenare la cosmonave di 2,55 km/sec in modo che essa, non più animata da una velocità sufficiente per restare sull'orbita di Marte, infilerà il ramo discendente della traiettoria sinergica e cadrà lungo il pozzo gravifico del Sole. Giunta sull'orbita terrestre, la caduta le avrà fatto acquistare una velocità eccessiva per quest'orbita ed essa tenderà pertanto a ripartire dall'altro lato verso il suo afelio sull'orbita marziana. Bisognerà quindi, arrivati al perielio sull'orbita terrestre, ridurre la velocità di 3,03 km/sec. In particolare si farà in modo di trovarsi al perielio sull'orbita terrestre quando la Terra passa in prossimità. Anche qui ci si farà captare dal pozzo gravifico terrestre e si scenderà alla superficie frenando aerodinamicamente. Data l'importanza primordiale della scelta dei momenti di partenza per incontrare Marte e Terra rispettivamente all'afelio e al perielio dell'orbita sinergica, il viaggio deve durare almeno 2 anni e 8 mesi.

Riassumendo, per il tragitto Terra-Marte e ritorno la cosmonave deve sviluppare le seguenti modificazioni di velocità:

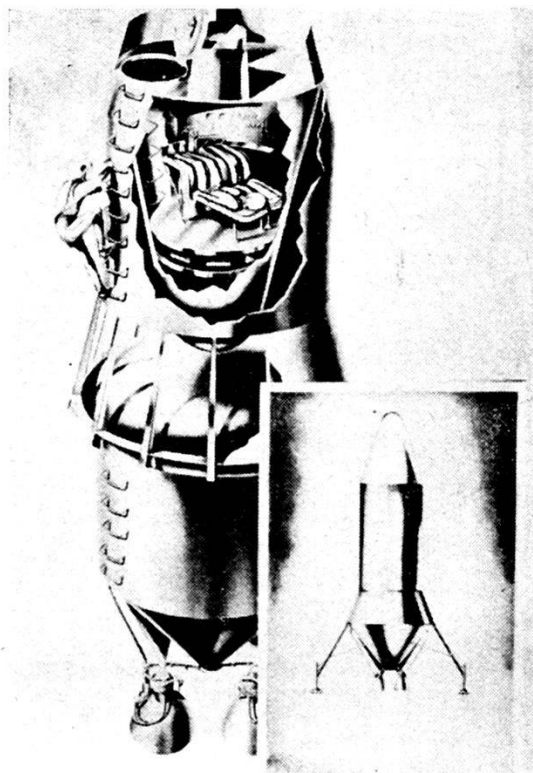
andata: 1a) imprimere una velocità (in km/sec) di 11,2 per uscire dal pozzo gravifico terrestre;



SATURNO C 1 a tre stadi; altezza 66 m. Prove e lanci fra tre anni.
Prestazione massima: posa di una stazione lunare automatica di 1 tonn.



Laboratorio spaziale che verrà collocato in orbita a mezzo del SATURNO C 2.
Lancio fra cinque anni. Il SATURNO C 2 comporterà 4 stadi.



SATURNO C 3: capsula abitata; peso finale 9 tonn.

Probabile viaggio Terra — Luna e ritorno fra otto - nove anni.

Nel riquadro: la capsula posata sulla Luna.

Il SATURNO C 3 comporterà 5 stadi, alcuni dei quali sostituibili con uno stadio nucleare.

2a) incrementare la velocità di 3,03 per infilare un'orbita sinergica con afelio sull'orbita di Marte;

3a) aggiungere 2,55 per restare sull'orbita di Marte;

4a) sviluppare 5,00 per scendere, frenando, alla superficie marziana;

ritorno: 1a) imprimere 5,00, per uscire dal pozzo marziano;

2b) 2,55 di frenata per staccarsi dall'orbita marziana e lasciarsi cadere verso il perielio sull'orbita terrestre;

3b) 3,03 di frenata per restare sull'orbita terrestre;

4b) 11,2 di frenata per posarsi sulla superficie della Terra.

In totale: 43,56 km/sec. Questa è detta la **velocità caratteristica del viaggio Terra-Marte**. Per raggiungere tale velocità occorrerebbero cosmonavi così potenti che tanto vale farci su un crocione e non parlarne più! Però la velocità caratteristica può essere ridotta: così, nel caso Terra-Marte, data l'atmosfera dell'una e dell'altro, scompare la necessità delle frenate in 4a) e in 4b); inoltre, calcolando bene gli arrivi e facendosi frenare o accelerare dall'attrazione planetaria, si possono forse evitare anche 3a) e 3b). La velocità caratteristica si riduce così a 21,78 km/sec, ingente, ma nell'ordine del possibile (però se quella prima velocità caratteristica era un po' pessimistica, questa altra è troppo rosea). Ma la vera soluzione si avrà soltanto quando le basi di partenza delle cosmonavi saranno poste sulla Luna (velocità di liberazione solo 2,4): dalla Luna si può veramente dire che il sistema solare è a portata di mano.

* * *

Crediamo così d'aver dato i necessari rudimenti per potere farsi un'idea dei viaggi cosmici.

Dal punto di vista militare, è difficile dire cosa significherà la conquista dei pianeti e dei satelliti, primamente della Luna: certo una rivoluzione totale, ancorchè molto graduale.

Ma a che punto ci si trova ora? Possiamo dire che stiamo per varcare la soglia della cosmonautica umana: sussistono due gravi problemi: 1. il modo di sfruttare la resistenza atmosferica (terrestre o

planetaria) per frenare gli impatti senza lasciar volatilizzare la cosmonave per attrito; 2. il modo di proteggere gli equipaggi dalle intensissime radiazioni di cui, imprevedibilmente, lo spazio si è rivelato saturo.

Per fortuna dell'Occidente pare che i Russi, che dispongono di un sicuro vantaggio in fatto di potenza dei missili vettori, non abbiano ancora sciolto questi due problemi fondamentali e debbano soffermarsi alcun poco davanti alla soglia fatidica.

Gli Americani cercheranno di approfittare della stasi per mettere a punto il Saturno (al quale è dedicata l'illustrazione ¹⁾ di questo articolo), il quale rappresenta per loro la carta migliore nella gara spaziale. **Comunque non ci si faccia illusioni: quando la soglia fatidica sarà varcata i progressi saranno rapidissimi.** Azzardiamo la profezia che, se i Russi riescono a mettere in un'orbita circumterrestre un satellite con equipaggio e a condurlo, sano e salvo, a Terra entro la fine di quest'anno, essi saranno sulla Luna entro il 1964.

La tabella di marcia degli Americani è, per ora, la seguente: satelliti con equipaggio sicuramente recuperabile incolume, 1962; spedizione lunare mediante il Saturno C3, 1968.

La gara è bella e terribile, ma il desiderio più vivo di tutti noi, e forse per primi dei militari, che conoscono gli orrori della guerra, è che, frattanto, il clima politico internazionale abbia a distendersi, così che sulle soglie fatidiche l'Umanità si presenti affratellata e non invece pronta a dilaniarsi. Ma non è forse una speranza che supera già i limiti di un ottimismo non utopistico?

¹⁾ Tratta da «Civiltà delle macchine», No. di luglio/agosto 1960

Nel prossimo fascicolo:

- *delle note del col. Brenno Galli, Cdt. Brig. fr. 9, sulla nuova organizzazione dell'Esercito;*
- *un saggio del I ten. B. Schatz, Capo della Sezione giuridica della Assicurazione militare federale, su: L'Assicurazione militare e lo sport.*