

Risultati e prospettive delle ricerche spaziali (*)

B. ROSSI

Ricevuto il 19 Febbraio 1963

Sarebbe una presunzione da parte degli scienziati il pensare che i grandiosi e costosissimi programmi di attività spaziale in cui, una dopo l'altra, si vanno imbarcando le maggiori nazioni del mondo siano motivati esclusivamente, od anche principalmente, da ragioni scientifiche. Vi sono importanti ragioni pratiche, come lo sviluppo di una rete globale di comunicazioni e la raccolta di dati meteorologici che permetta sicure predizioni del tempo. Vi sono questioni di prestigio nazionale. E vi è infine l'indomabile spirito d'avventura che obbliga l'uomo a tentare tutto ciò che è umanamente possibile, a spingersi sempre più lontano nel mondo che lo circonda.

Eppure è assai probabile che, in ultima analisi, il risultato più importante e più durevole di questa attività saranno appunto quelle scoperte scientifiche che oggi passano quasi inosservate. È probabile che il periodo iniziato quasi cinque anni fa col lancio del primo sputnik passerà alla storia come quello in cui l'umanità ha compiuto uno sbalzo di eccezionale portata verso la conoscenza del pianeta su cui vive e dell'universo che circonda questo pianeta.

La terra è parte del sistema solare, e l'esplorazione diretta del sistema solare ha già avuto inizio. Non v'è dubbio che durante il prossimo decennio strumenti sempre più complessi e raffinati verranno lanciati a distanze sempre più grandi dal nostro pianeta. E, con ogni probabilità, in questo periodo assisteremo pure ai primi viaggi di astronauti oltre i limiti di quella regione dello spazio che è sotto l'influenza diretta della terra.

(*) Nota presentata al 2° Congresso Internazionale Tecnico Scientifico dello Spazio. Roma 19-23 Giugno 1962.

Il sole è una delle innumerevoli stelle che formano le galassie, e la nostra galassia non è che una delle innumerevoli galassie che riempiono l'universo. Rispetto alle altre stelle e alle altre galassie, la situazione è diversa da quella che riguarda il sistema solare giacchè questi oggetti, a causa della loro enorme distanza, non potranno essere raggiunti da veicoli spaziali.

Per quel che riguarda le stelle al di fuori del sistema solare e le galassie al di fuori del nostro sistema galattico, non si vede nessuna possibilità di esplorazione diretta a causa della loro enorme distanza.

Le ricerche spaziali, tuttavia, sono destinate ad aumentare grandemente le nostre conoscenze dell'universo galattico e extragalattico. L'atmosfera, come è noto, non lascia passare che una piccola parte delle radiazioni elettromagnetiche provenienti dagli oggetti celesti. I raggi infrarossi, i raggi ultravioletti, e i raggi X sono completamente assorbiti dai primi strati dell'atmosfera. I raggi gamma di breve lunghezza d'onda penetrano alquanto nell'atmosfera, ma ben presto rimangono nascosti sotto l'intenso flusso dei raggi gamma secondari prodotti dai raggi cosmici. Non rimane quindi che una stretta « finestra » nel visibile, ed una seconda finestra più ampia, nella regione delle radio-onde. Per di più le osservazioni astronomiche nel visibile sono seriamente ostacolate dalle distorsioni atmosferiche e dalla luminescenza atmosferica del cielo notturno.

Per contro, da un satellite che giri attorno alla terra ad un'altezza di alcune centinaia di chilometri, si può osservare, senza distorsioni e senza lo sfondo di radiazioni secondarie, tutto lo spettro delle onde elettromagnetiche, dai raggi γ alle onde radio di una lunghezza d'onda massima determinata dalla densità del plasma.

Osservazioni astronomiche con strumenti a bordo di veicoli spaziali presentano, perciò, grandi promesse; e, per quanto l'astronomia spaziale sia ancora nella sua infanzia, ha già prodotto qualche risultato preliminare di notevole interesse. Vorrei ricordare a questo proposito le osservazioni dei raggi gamma di alta energia eseguite per mezzo di Explorer XI. Tali raggi possono provenire solamente dal decadimento radioattivo dei mesoni π_s , i quali a loro volta possono venire prodotti da collisioni nucleari di alta energia o da processi di annichilazione di materia con antimateria. Gli apparecchi a bordo di Explorer XI hanno registrato un flusso debolissimo di raggi gamma, che può interpretarsi come dovuto ad urti di raggi cosmici coi nuclei del tenuissimo gas interstellare. Questi risultati, per quanto tutt'altro che definitivi, hanno permesso di scartare una delle versioni dell'ipotesi cosmologica della creazione continua. Secondo

questa versione, verrebbero create continuamente nell'Universo, ed in particolare nella nostra galassia, coppie di protoni ed antiprotoni, con un ritmo sufficiente a compensare la continua espansione dell'universo, e a mantenere una densità costante di materia. Se così fosse, gli antiprotoni creati nella galassia dovrebbero via via annichilarsi con i protoni, e così facendo dovrebbero produrre raggi gamma, ed il flusso di raggi gamma predetto da questa teoria è parecchie centinaia di volte più intenso di quello che è stato osservato da Explorer X.

Quali sorprese attendano gli scienziati quando potranno sfruttare in pieno le possibilità offerte dai veicoli spaziali, nessuno può dire. Vorrei menzionare qui solamente il fatto che l'assenza della luminescenza di fondo del cielo, l'assenza di distorsioni atmosferiche e la possibilità di estendere le osservazioni nell'infrarosso aumenteranno, a quanto sembra, di un fattore 10 il raggio di visibilità. Ciò permetterebbe di osservare galassie che si trovano vicine al limite estremo dell'universo, che si trovano cioè in quella regione dello spazio dove la velocità di recessione si avvicina alla velocità della luce. Non è difficile comprendere la grande importanza cosmologica di tali osservazioni.

Vorrei ora tornare al sistema solare, su cui si sono già ottenuti importanti risultati e su cui si sta rapidamente concretando un organico programma di ricerca, diretto a chiarirne l'origine, l'evoluzione, e la presente struttura.

Per quel che riguarda l'origine del sistema solare, ha particolare importanza lo studio dei corpi solidi in esso contenuti, come la terra, gli altri pianeti interni, e la luna.

Come è noto, un'ipotesi favorita oggi da molti astronomi è che il sole, i pianeti e la luna siano nati, attraverso locali processi di condensazione, da una primordiale e fredda nuvola di pulviscolo a gas. Ad un certo punto, raggiunta una data densità critica, si sarebbero iniziati nel sole quelle reazioni termonucleari che durano tuttora, e che sono la sorgente dell'energia irradiata. I pianeti avrebbero pure raggiunto, al principio della loro vita, una temperatura piuttosto elevata, a causa del loro contenuto radioattivo destinato poi a diminuire gradualmente. Mentre la luna, dato il minor rapporto fra massa e area, potrebbe essere rimasta ad una temperatura più modesta attraverso tutta la sua storia. Le condizioni termiche di un corpo celeste influenzano il grado di plasticità del suo materiale e la rapidità con cui elementi leggeri e pesanti si ridistribuiscono nella sua massa sotto l'influenza del campo gravitazionale. Perciò lo studio della costituzione interna dei pianeti e della relativa abbondanza degli elementi presenti alla loro superficie permetterà di confermare le correnti idee sull'origine del sistema solare.

Vi sono ancora molte incognite sulla struttura interna della terra, e, strano a dirsi, uno dei primi risultati delle ricerche spaziali è stato un notevole progresso nelle nostre conoscenze del pianeta su cui viviamo. Studiando accuratamente le orbite dei satelliti artificiali, è stato possibile stabilire che la forma media della terra differisce più di quanto si credeva dalla forma che dovrebbe acquistare una massa plastica sotto l'influenza delle forze gravitazionali e centrifughe. Ciò significa che la terra, ha una rigidità interna assai maggiore di quella attribuitale precedentemente.

Il giorno in cui si metteranno satelliti in orbita attorno alla luna, a Marte o a Venere, si potranno usare simili metodi per studiare la forma e conseguentemente la struttura interna di tali oggetti. Gli scienziati si attendono risultati particolarmente interessanti per quel che riguarda la luna, che, secondo idee correnti, non avrebbe dovuto passare attraverso la fase di alta temperatura e quindi di alta plasticità attraverso cui sarebbero passati la terra e gli altri pianeti di simile massa.

Le condizioni fisiche e chimiche della superficie lunare sono pure di eccezionale interesse. Non essendo soggetta a quegli agenti atmosferici, che hanno così profondamente alterato la superficie terrestre, la superficie lunare è rimasta probabilmente immutata per miliardi di anni e quindi porta impressa la storia del sistema solare nel lontano passato. La sua dettagliata esplorazione potrà rivelare, per esempio, se è vero, come taluni pensano, che l'iniziale condensazione della nebula solare non abbia dato luogo direttamente alla formazione dei pianeti, ma piuttosto ad oggetti di assai più piccole dimensioni, che si sarebbero poi aggregati per formare tali pianeti e i loro satelliti.

Una completa esplorazione della superficie lunare richiederà lo sbarco di complessi strumenti, e probabilmente, di astronauti. Ma qualche osservazione preliminare di grande importanza si potrà fare pure da veicoli spaziali lanciati contro la luna o meglio messi in orbita attorno alla luna. Macchine da presa televisive potranno mettere in evidenza dettagli della struttura superficiale ancora ignoti. Contatori di raggi gamma permetteranno di misurare l'abbondanza dei vari elementi radio attivi, ed in particolare, del potassio, e di fare così un primo passo nell'analisi chimica della superficie lunare.

Tornando alla terra, vorrei accennare al fatto che la sua atmosfera presenta molti problemi ancora non risolti, i quali sono di grande importanza sia scientifica, sia pratica. Già le ricerche spaziali hanno contribuito notevolmente alla soluzione di questi problemi. Mi limiterò a ricordare un esempio. L'atmosfera residua nello spazio dove si muovono

i satelliti produce un graduale frenamento, che risulta in un graduale abbassamento dell'apogeo. Osservando questo fenomeno, Jacchia ha messo in evidenza il fatto che la densità dell'aria, ad altezze di qualche centinaio di chilometri, varia periodicamente con un periodo di 27 giorni, che coincide col periodo di rotazione del sole. Questo fatto si spiega colla circostanza che la radiazione solare varia durante la rotazione del sole perché non tutte le regioni della superficie solare sono ugualmente attive. Esso rivela direttamente connessione tra fenomeni solari e fenomeni meteorologici che può avere grande importanza.

Gli strati superiori dell'atmosfera sono fortemente ionizzati dai raggi ultravioletti, dai raggi X, e talora dai raggi corpuscolari provenienti dal sole. Essi formano la ionosfera la quale, tra l'altro, per la sua capacità di riflettere onde elettromagnetiche di media lunghezza, permette le comunicazioni radio a grande distanza, che sarebbero altrimenti impossibili a causa della curvatura della terra.

Prima del lancio dei veicoli spaziali, i soli dati sulla ionosfera erano quelli ottenuti appunto studiando la riflessione di onde elettromagnetiche emesse da stazioni alla superficie della terra. Per la sua stessa natura, questo metodo non può dare nessuna informazione sulla densità di ionizzazione al di sopra del massimo, che si trova a circa 200 chilometri. Veicoli spaziali hanno già permesso di misurare direttamente la densità di ionizzazione oltre il massimo. Prossimamente si inizieranno misure con un altro metodo, che appare assai promettente. Esso è basato sull'osservazione di segnali radio emessi da un satellite che circola la terra al di sopra della ionosfera, e riflessi verso il satellite stesso dalla ionosfera sottostante.

Ben poco sappiamo finora sull'atmosfera degli altri pianeti, come Marte e Venere, e delle corrispondenti ionosfere. Il loro studio è uno degli scopi principali dei voli interplanetari che avranno luogo nei prossimi anni.

Un veicolo spaziale che passi nelle vicinanze del pianeta, sia pure senza raggiungerlo, può ottenere importanti dati sulla composizione dell'atmosfera per mezzo dell'analisi spettroscopica della luce solare che, sfiorando il pianeta all'alba o al tramonto, passa attraverso un notevole strato di tale atmosfera. Dati più precisi si potranno ottenere, in un secondo tempo quando si tenterà di raggiungere la superficie stessa del pianeta per mezzo di strumenti contenuti in capsule lanciate fuori dal veicolo nel suo passaggio presso il pianeta. Questi strumenti permetteranno di ottenere dati più precisi riguardanti sia l'atmosfera come la superficie dei pianeti.

Fra i molti problemi che attendono di essere risolti da esperienze di questo genere vi è quello della temperatura di Venere che, secondo certe misure radiometriche, sembra essere eccezionalmente elevata, raggiungendo forse i 300 °C. Se questi risultati sono esatti, essi indicano che il pianeta Venere è circondato da un'atmosfera di proprietà eccezionali, la quale lascia passare la luce visibile del sole, ma trattiene i raggi infrarossi riemessi dal pianeta impedendone così il raffreddamento.

Lo studio delle condizioni fisiche dell'atmosfera e delle superfici dei pianeti è di eccezionale importanza per determinare se forme di vita più o meno simili alla nostra sono possibili su tali pianeti. Se lo sono, può darsi benissimo che l'interesse principale delle ricerche spaziali si sposti dalla fisica alla biologia. Non occorre essere specializzati in questa scienza per apprezzare l'enorme portata scientifica e filosofica che avrebbe la scoperta di forme di vita estraterrene, per comprendere come tale scoperta costituirebbe un grande passo verso la soluzione del mistero che circonda l'origine della vita sul nostro pianeta. Altrettanto importante sarebbe la scoperta di forme intermedie di aggregazione della materia fra quelle caratteristiche degli esseri viventi e quelle che si ritrovano nel mondo inanimato. Non è impossibile che tali forme possano esistere oggi in un pianeta in cui, per qualche ragione, l'esplosione della vita fosse stata ritardata.

Ritornando una volta di più alla terra, sappiamo oggi che, al di là della sua atmosfera e ionosfera, si trova una vasta regione, nota come magnetosfera. Questa regione contiene quelle particelle cariche veloci, trattenute nelle vicinanze della terra dal suo campo magnetico, che formano la grande fascia di radiazione scoperta da Van Allen. Tale scoperta fu il risultato più notevole delle prime ricerche spaziali, e gran parte delle esperienze condotte in questi anni, hanno avuto come oggetto, appunto, lo studio della fascia di radiazione. Grazie a queste ricerche, sappiamo oggi che la fascia di radiazione è formata da elettroni e protoni e possediamo dati piuttosto precisi sulla densità di queste particelle, sul loro spettro d'energia, e sulla loro distribuzione angolare, in funzione dello spazio e del tempo. Tuttavia non conosciamo ancora la risposta al fondamentale problema dell'origine della fascia di radiazione e sul modo in cui queste proprietà che caratterizzano il flusso di particelle in un determinato punto variano nel tempo e nello spazio. È possibile, ed anzi probabile, che una parte di questa radiazione sia dovuta ad una albedo di neutroni dell'atmosfera sottostante. I raggi cosmici, appena entrano nell'atmosfera, producono interazioni nucleari in cui, fra l'altro vengono

emessi neutroni. I neutroni lanciati verso l'alto viaggiano indisturbati attraverso il campo magnetico terrestre. Molti di essi si disintegrano in viaggio producendo elettroni e protoni che, essendo carichi, rimangono imprigionati da questo campo. D'altra parte non sembra che tutta la fascia di radiazione possa spiegarsi in questo modo. Altre possibili sorgenti che sono state suggerite comprendono l'iniezione nella magnetosfera di particelle provenienti dal sole, e l'accelerazione locale, per effetto di disturbi idromagnetici, di particelle già presenti nella magnetosfera.

Se ci allontaniamo sufficientemente dalla terra e dagli altri pianeti, in modo da sottrarci completamente alla loro influenza sia gravitazionale che magnetica, ci troviamo in quello che si suol chiamare lo spazio interplanetario. Già prima dell'inizio dei voli spaziali si era andata affermando l'idea che tale spazio non fosse vuoto, ma contenesse un tenuissimo gas, presumibilmente idrogeno completamente ionizzato. Esperimenti con veicoli spaziali sia russi che americani hanno confermato questa idea. Particolarmente importanti furono i risultati ottenuti con Explorer X, i quali dimostrarono che questo gas ionizzato, o plasma, ha una densità di circa 10 elettroni e protoni per cm^3 e si muove con una velocità di circa 300 km al secondo venendo, sembra, più o meno direttamente dal sole. Explorer X ha anche dimostrato che la terra è circondata da un volume in cui il plasma interplanetario non può penetrare, essendone impedito dal campo magnetico terrestre. Questo volume, che ha ricevuto il nome di cavità geomagnetica, ha una forma allungata, estendendosi pare fino a circa 10 raggi terrestri, nella direzione da cui viene il vento, cioè nella direzione del sole, e fino a parecchie decine di raggi terrestri nella direzione opposta.

Questi a cui ho accennato non sono che risultati preliminari. Lo studio ulteriore del plasma interplanetario è senza dubbio uno dei compiti più urgenti delle ricerche spaziali nei prossimi anni. Si tratta di uno studio di grande importanza sia per il geofisico, interessato dei fenomeni a cui dà luogo l'interazione del plasma interplanetario col campo magnetico terrestre, come per l'astrofisico, interessato dei fenomeni solari di cui questo « vento » di plasma è una diretta manifestazione.

In realtà il plasma interplanetario può considerarsi come un'estensione dell'atmosfera solare, giacché non vi è nessuna naturale superficie di separazione fra di esso e la cosiddetta corona solare. Perciò lo studio del plasma interplanetario è, in un certo senso, uno studio diretto del sole. Sarebbe naturalmente di grande interesse eseguire misure dirette, del tipo di quelle che ho descritto, assai più vicino al sole. È probabile

che nel futuro non troppo lontano veicoli spaziali raggiungeranno distanze dell'ordine di un terzo o un quarto del raggio dell'orbita terrestre. Nel frattempo tuttavia possiamo attenderci nuovi dati di notevole importanza per la fisica solare attraverso l'osservazione dei raggi ultravioletti e dei raggi X, che è divenuta possibile mediante l'uso dei satelliti posti in orbita al di sopra della nostra atmosfera. Esperienze preliminari per mezzo di razzi hanno già permesso di misurare accuratamente lo spettro ultravioletto del sole; hanno dimostrato che la corona solare è un'intensa sorgente di raggi X; ed hanno fornito una prima immagine fotografica del disco solare in raggi X. Si attendono ora con grande interesse i risultati del primo osservatorio solare in orbita, che ha terminato le sue trasmissioni alcune settimane fa dopo aver funzionato, pare soddisfacentemente, per vari mesi.

Prima di chiudere vorrei mettere in chiaro che la possibilità di condurre esperimenti nello spazio non ha diminuito l'importanza delle osservazioni terrestri. Quello che sta succedendo è anzi proprio il contrario. Vorrei far rilevare due cose. La prima è la grande importanza che una collaborazione internazionale ha per le ricerche spaziali. Si tratta di problemi che interessano tutta l'umanità e che spesso richiedono osservazioni di carattere globale. La seconda è il fatto che vi sono varie ottime ragioni perché ciò sia così.

Anzitutto le osservazioni terrestri costituiscono un necessario complemento delle ricerche spaziali. Così, ad esempio, le ricerche spaziali dirette a studiare le proprietà della ionosfera al di sopra del massimo avranno assai maggiore significato se saranno accompagnate da quelle osservazioni terrestri (riflessioni ionosferiche a varie frequenze, effetto Lusseburgo, etc.) che permettono di studiarne le proprietà al di sotto del massimo.

In secondo luogo le osservazioni spaziali, eseguite contemporaneamente alle osservazioni di certi fenomeni terrestri, permetteranno di interpretare questi ultimi in modo assai più preciso e aumentandone quindi l'interesse. Così, ad esempio, si pensa che le fluttuazioni del campo magnetico terrestre e le variazioni di intensità dei raggi cosmici siano provocate da cambiamenti nelle condizioni del plasma interplanetario in cui la terra è immersa. C'è da attendersi che le osservazioni dirette del plasma interplanetario fatte per mezzo di veicoli spaziali permetteranno di stabilire in modo esatto questa correlazione. Quando ciò sia stato fatto, magnetometri e monitori di raggi cosmici operanti alla superficie della terra diverranno strumenti per l'osservazione delle condizioni meteorologiche nello spazio interplanetario.

Infine le ricerche spaziali, facendo intravedere la possibilità che alcuni fra i più importanti problemi della geofisica, della fisica solare e dell'astrofisica possano finalmente venire risolti, hanno intensificato l'interesse in tali problemi e provocato un nuovo stimolo per quelle ricerche terrestri che sono dirette allo studio di questi stessi problemi.

Possiamo quindi attenderci, nei prossimi anni, di assistere ad un coerente sviluppo di osservazioni terrestri e di ricerche spaziali, che si completeranno a vicenda e che, insieme, rivoluzioneranno le nostre conoscenze del mondo in cui viviamo e della sua evoluzione.