

Aspetti internazionali dei problemi delle telecomunicazioni spaziali (*)

I. RANZI (**)

Ricevuto il 19 Febbraio 1963

RIASSUNTO. — Vengono esposti i problemi che si presentano sul piano internazionale per l'organizzazione dei sistemi di comunicazioni facenti uso di satelliti artificiali della terra come ripetitori, e per lo svolgimento delle ricerche spaziali. In particolare viene trattato il problema dell'assegnazione delle frequenze ai vari servizi spaziali e se ne pongono in rilievo le non lievi difficoltà.

SUMMARY. — The paper presents the problems to be tackled on international level for the organisation of communication systems by using artificial satellites of the earth as repeaters and for the performance of space research.

Particular attention is devoted to the problem of the allocation of frequencies to the various space services, emphasizing its considerable difficulties.

Mi propongo di esporre in sintesi quali siano i più importanti problemi tecnici delle telecomunicazioni spaziali in genere, i quali esigono per la loro soluzione una trattazione sul piano internazionale.

Fortunatamente esiste già la sede adatta per tale trattazione, costituita precisamente dall'Unione Internazionale delle Telecomunicazioni (U.I.T.), la cui funzione è fiancheggiata dai suoi due Comitati Consultivi, l'uno per la radiocomunicazione (C.C.I.R.), l'altro per la telegrafia e la telefonia (C.C.I.T.T.). Il grave problema dell'assegnazione delle varie frequenze dello spettro radioelettrico ai diversi servizi viene trattato e

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

(**) Professore ordinario presso l'Istituto Superiore delle Poste e Telecomunicazioni - Roma. Presidente della Commissione di Studio per le Comunicazioni Spaziali del Comitato Consultivo Internazionale delle Radiocomunicazioni.

risolto in tale sede, e si può dire che l'importanza e l'efficienza dell'organizzazione in parola si sono ormai validamente affermate.

Una particolare Commissione di Studio del C.C.I.R., e precisamente la quarta, è stata creata per l'esame dei problemi delle telecomunicazioni spaziali; essa si è riunita per la prima volta a Washington nel Marzo 1962, svolgendo i lavori preparatori per l'Assemblea Plenaria del C.C.I.R. che si terrà a Ginevra nel Gennaio-Febbraio 1963.

Il primo e più importante problema che si presenta in questo nuovo e promettente campo della ricerca e della tecnica è quello dell'assegnazione delle bande di frequenza ai vari servizi spaziali; ad esso, come vedremo, sono strettamente legati in una interdipendenza a volte assai complessa i vari altri problemi tecnici dei sistemi di comunicazione spaziale.

1. - SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONE A MEZZO DI SATELLITI.

Iniziamo il nostro esame dal campo delle telecomunicazioni a grande distanza, facenti uso di satelliti artificiali della terra, quali ripetitori attivi o passivi.

Le caratteristiche di tali sistemi sono state così largamente divulgate in questi ultimi tempi, ed anche nel corso di questo Convegno esse hanno formato oggetto di così approfondito esame, che ritengo del tutto inutile ritornare su di esse.

Le più accreditate previsioni che oggi si fanno circa la larghezza totale delle bande di frequenza che verranno richieste dai sistemi in questione sono di 1000 MHz entro il 1970 e di altri 1000 MHz entro il 1980; è inutile forse precisare che tali cifre si riferiscono ai satelliti ripetitori attivi, gli unici che, allo stato attuale della tecnica, appaiono atti a soddisfare le esigenze di un efficiente sistema per comunicazioni transcontinentali.

Se si confrontano tali esigenze con i 127 MHz complessivi delle varie bande assegnate per tutti i servizi spaziali (comprese quindi le ricerche spaziali) dalla Conferenza Radio Amministrativa di Ginevra del 1959, e se si tiene inoltre conto della completa saturazione dello spettro delle microonde specie fra 1000 e 10.000 MHz, il problema sembra a prima vista di soluzione particolarmente difficile.

Fortunatamente, si è ben presto dimostrata la possibilità di condividere le bande richieste con quelle già assegnate ai ponti radio di piccola potenza in visibilità diretta. Sono proprio le frequenze fra 2000 e 10.000 MHz, cioè quelle che comprendono i ponti radio, che appaiono come le

più adatte per le comunicazioni spaziali; infatti, il limite inferiore a 2000 MHz o poco al disotto è imposto dal rumore di origine cosmica, la cui intensità cresce rapidamente al disotto di tali frequenze; verso i 4000 MHz l'intensità di tale rumore si riduce a valori inferiori a quelli relativi al rumore dovuto alla emissione di onde elettromagnetiche per meccanismo termico da parte del vapor acqueo atmosferico; anche la radiazione dei corpi posti alla superficie terrestre o quella dello stesso suolo, data la sua intensità relativamente elevata, può contribuire, intorno e al disopra della suddetta frequenza, al rumore del ricevitore, anche se l'antenna non è puntata all'orizzonte, e ciò per effetto dei cosiddetti lobi secondari dell'antenna stessa.

Il rumore dovuto al vapor acqueo atmosferico s'accresce poi con la frequenza al disopra di quella banda intorno ai 4000 MHz, a cui corrisponde così il minimo del rumore di origine esterna; si progetta pertanto di assegnare tale banda (precisamente fra 3700 e 4200 MHz) alle comunicazioni dirette dal satellite verso terra, tenuto conto della limitata potenza dei trasmettitori posti a bordo dei satelliti, e della necessità quindi dell'impiego di sistemi riceventi a terra di elevata sensibilità.

È poi previsto l'uso delle due bande fra 1750 e 2250 MHz e fra 5925 e 6425 MHz per le trasmissioni dalle stazioni a terra verso i satelliti; un'altra banda fra 6500 e 7000 MHz potrà essere necessaria per gli ulteriori sviluppi dei sistemi di telecomunicazioni a mezzo di satelliti (verso il 1980).

In linea di massima, tutti i Paesi occidentali appaiono d'accordo su tali assegnazioni; nella riunione di Washington, la delegazione dell'Unione Sovietica ha espresso il parere che sia per ora sufficiente assegnare ai servizi in questione solo tre bande, una di 100, una di 400 e una di 500 MHz, fra 3000 e 6000 MHz. La decisione finale spetterà alla Conferenza Radio Amministrativa prevista per la fine del 1963, a Ginevra.

La condivisione delle frequenze con i ponti radio presenta vari problemi, i cui aspetti hanno una diretta importanza nel campo internazionale.

La possibilità di interferenze reciproche fra i due sistemi va attentamente esaminata. Praticamente non avverrà mai che l'antenna a terra di un sistema di comunicazione a mezzo di satelliti e quella di un terminale di un ponte radio siano puntate direttamente l'una verso l'altra; tuttavia l'esistenza dei lobi secondari delle stesse antenne, specie dei primi lobi laterali, può far sì che parte dell'energia emessa da un'antenna entri nell'altra, anche se gli angoli fra gli assi siano dell'ordine di una decina di gradi o più. Nel caso della interferenza prodotta in un ricevitore spaziale da parte delle emissioni di un ponte radio, è l'elevata sen-

sibilità del ricevitore a definire le condizioni di protezione, e nel caso della interferenza inversa, è l'elevata potenza del trasmettitore del sistema spaziale (dell'ordine di uno o più chilowatt) a definire i termini del problema.

È ovvio che il valore limite massimo consentito, per quanto riguarda la potenza del segnale disturbante all'ingresso del ricevitore, dipende in alto grado dai tipi di modulazione del segnale desiderato e del segnale disturbante: nel caso di trasmissioni di telefonia, comprendenti un certo numero di canali (ad esempio, 960 canali a due vie, in una banda base di 5 MHz), appare subito la convenienza di disporre nella stessa banda di frequenza, i vari canali dei due sistemi di comunicazione, in modo tale che quelli di un sistema siano intercalati fra i singoli canali dall'altro sistema.

Poichè esistono dei precisi piani di canalizzazione raccomandati in sede internazionale dal C.C.I.R. per i ponti radio, sarebbe possibile una riduzione delle probabilità di interferenze adottando un opportuno piano di canalizzazione per i sistemi a satellite; vi sono, tuttavia, oggi alcune difficoltà per un tale accordo, dato che per alcune bande di frequenza vi sono Paesi che, per ragioni tecniche ed anche finanziarie, non sono in grado di modificare i loro impianti di ponti radio, così da adeguarsi alle norme del C.C.I.R. emanate dopo la messa in opera degli impianti stessi.

Anche quando sia possibile una disposizione interlacciata dei canali, la protezione dalle interferenze può essere assicurata solo se viene interposta fra le stazioni terminali dei due sistemi una notevole attenuazione di propagazione; questa attenuazione appare dell'ordine di 160 dB e dovrebbe salire a 180 dB circa nel caso in cui l'interlacciamento non sia possibile.

Attenuazioni di quest'ordine si possono avere nella propagazione troposferica al di là dell'orizzonte, a mezzo del noto meccanismo della diffusione (scatter), oppure nel caso dell'interposizione di rilievi del terreno, quali catene montuose, che producano una efficiente azione di schermo; quest'ultimo effetto è oggi assai poco noto nei suoi dettagli e intense ricerche in tale campo sono state raccomandate dal C.C.I.R.

Le distanze cui corrispondono le richieste attenuazioni di propagazione vanno dai 40 ai 150 e più chilometri; è ovvio come, anche nella previsione del caso di terminali dei due sistemi posti vicino a frontiere fra due Stati, sia necessaria una trattazione del problema in sede internazionale.

Il problema, comunque, va trattato tenendo anche presente il fatto che le stazioni a terra dei sistemi di comunicazioni spaziali saranno in

numero limitato su tutta la terra e che, quindi, una volta fissati i criteri generali per la soluzione, le soluzioni singole andranno studiate caso per caso. Soluzioni di carattere generale non possono ora essere date, anche perchè i sistemi di modulazione più convenienti per le comunicazioni a mezzo di satelliti saranno definiti solo in base ai risultati delle esperienze in corso col satellite «Telstar» e delle varie altre progettate (satelliti «Relay» e «Syncom», in particolare).

Non solo il tipo di modulazione, ma anche la potenza in gioco, tutti elementi questi che influiscono sulle possibilità di interferenze con altri sistemi, dipendono dal sistema a satellite che verrà in definitiva adottato. Allo stato attuale delle nostre conoscenze, sembra che i sistemi suscettibili di pratiche applicazioni nel campo delle telecomunicazioni siano i seguenti:

a) sistema con numerosi satelliti, distribuiti casualmente, in orbite ellittiche o circolari inclinate sul piano equatoriale, ad altezze da 2000 a 5000 km circa sulla superficie terrestre (tipo «Telstar»):

b) sistemi con 12 o 20 satelliti in orbita circolare equatoriale ad altezza intermedia (intorno ai 12.000 km), dotati di dispositivi per la correzione dell'orbita e della velocità, così da mantenere l'equidistanza fra di loro, e dotati inoltre di dispositivi automatici per l'orientamento fisso verso terra così da consentire l'uso di antenne direttive a elevato guadagno;

c) sistemi con satelliti sincroni col moto della terra, su orbita equatoriale (alta circa 36.000 km) e quindi stazionari rispetto alla superficie terrestre, dotati di dispositivi per la correzione dell'orbita e per l'orientamento fisso (3 di tali satelliti sarebbero sufficienti).

È evidente che nel caso del sistema b), in cui le orbite dei satelliti sono sempre le stesse per una determinata stazione e ancor più nel caso del sistema stazionario, in cui le antenne delle stazioni a terra mantengono un puntamento fisso, le possibilità di interferenza con ponti radio sono più ridotte.

Nel caso del sistema con satelliti stazionari vi è, però, da tener presente che forse il tipo di modulazione più conveniente nelle trasmissioni dalla terra verso il satellite potrà essere quello a banda laterale unica; esso, infatti, consentirebbe una maggiore accessibilità al sistema da parte delle stazioni a terra.

Come già si è detto, solo l'esperienza fornirà gli elementi per la scelta del sistema; non è, però, da escludersi che risulti conveniente l'impiego simultaneo di due diversi sistemi.

Sempre per ciò che riguarda il problema della condivisione delle frequenze, sono oggetto di studio anche le possibilità di interferenza nei ricevitori dei ponti radio per effetto delle emissioni dai satelliti, e quella di interferenza nei ricevitori a bordo dei satelliti da parte di trasmettitori di ponti radio.

Gli studi nel campo della condivisione delle frequenze mirano ora a stabilire le condizioni generali e i modi di soluzione dei vari problemi, che potranno in seguito delinarsi con maggiore precisione.

Oltre alle bande di frequenze destinate alle comunicazioni vere e proprie (telefoniche o televisive), altre più ristrette bande sono richieste dai satelliti per comunicazioni: una banda per il puntamento e l'inseguimento (tracking) del satellite, e per la trasmissione dei dati sul funzionamento degli apparati di bordo, sulle radiazioni ambientali, ecc. (telemetria), banda che già è stata assegnata, sia pure non in esclusiva, dalla Conferenza di Ginevra del 1959, fra 136 e 138 MHz; un'altra banda, di pochi KHz, attorno ai 400 MHz sarà necessaria per la trasmissione di comandi da terra (telecomandi), comandi relativi all'entrata in funzione dei vari apparati o al loro silenziamento, all'eventuale funzionamento di dispositivi per la correzione dell'orientamento o del moto del satellite, ecc.

Vi sono altri problemi relativi all'entrata in funzione di un sistema di comunicazioni intercontinentali a mezzo di satelliti, problemi che esigono una discussione in sede internazionale; ci limiteremo qui ad enunciarli:

- a) Diffusione dei dati orbitali dei vari satelliti così da consentire il puntamento delle antenne delle stazioni a terra.
- b) Assegnazione dei canali telefonici e televisivi ai vari Paesi.
- c) Dislocazione delle stazioni a terra, e interferenze fra stazioni vicine.
- d) Metodi per la commutazione da un satellite all'altro, specie nei sistemi a satelliti distribuiti casualmente in orbite relativamente basse.
- e) Metodi per la correzione dell'effetto Doppler.
- f) Interconnessioni fra stazioni a terra dei sistemi a satelliti e sistemi di comunicazioni terrestri.

2. - TELECOMUNICAZIONI SPAZIALI IN GENERE.

Anche in questo campo, il problema fondamentale che si presenta sul piano internazionale è quello dell'assegnazione delle frequenze. Considereremo qui brevemente quali siano le esigenze nei vari casi.

2.1 *Sonde spaziali (tipo « Ranger », « Mariner », ecc.).* — Per quanto riguarda il « tracking » normale potrà servire la stessa banda 136-138 MHz già assegnata; il tracking di precisione che tali sonde esigono dovrà farsi su frequenze più alte fra 1000 e 4000 MHz e con elevate larghezze di banda (da 2 a 4 MHz), dato che si deve determinare con grande esattezza anche la distanza, e si deve far quindi uso di emissione e ricezione di impulsi (transponder); tali frequenze potranno essere condivise fra le varie sonde spaziali se queste sono assai lontane fra di loro. Data, però, la piccola potenza dei segnali ricevuti da sonde lontane, occorrerebbe provvedere all'assegnazione di almeno una banda in uso esclusivo per l'esplorazione profonda dello spazio.

La telemetria e il telecomando potrebbero effettuarsi fra 1000 e 4000 MHz, o, come proposto da taluni, secondo due bande, l'una fra 300 e 600 MHz, e l'altra fra 600 e 2000 MHz, per una larghezza totale di 1 MHz. La prima banda appare come la più conveniente, poichè consente l'impiego, a bordo della sonda, di trasmettitori a transistor, di peso e ingombro assai ridotto.

2.2. *Satelliti per ricerche.* — Anche per questi satelliti la banda fra 136 e 138 MHz viene proposta per una definitiva assegnazione alle funzioni di tracking e telemetria. Per il tracking di precisione, per la trasmissione di dati a larga banda e per particolari ricerche su fenomeni di propagazione, si prevede l'impiego di frequenze anche più elevate, sino a 10 GHz.

L'Unione Sovietica tende a impiegare onde H.F., fra i 20 e i 90 MHz; le frequenze più basse offrono il vantaggio di poter essere ricevute, in seguito a riflessioni multiple fra la ionosfera e la superficie terrestre, anche quando il satellite si trova occultato dalla terra, il che può essere utile quando non si possa disporre di una rete mondiale di stazioni di ascolto; tali frequenze offrono però lo svantaggio di un elevato rumore di origine atmosferica e cosmica e della possibilità di interferenze.

2.3 *Satelliti di navigazione.* — Per la telemetria e il telecomando vengono proposte le bande di frequenza già indicate per gli altri satelliti e per le sonde spaziali. Le frequenze, su cui verranno effettuati i rilievi che conducono alla determinazione della posizione di chi riceve i segnali, variano a seconda del sistema usato. Come è noto, in tutti i sistemi si presumono conosciuti tutti i parametri dell'orbita del satellite. In quei sistemi in cui il punto viene fatto misurando l'angolo d'arrivo verticale

(oppure quello orizzontale) dei segnali emessi dal satellite, le frequenze dovranno essere nella gamma fra 8 e 35 GHz. Nei sistemi basati invece sul metodo del « transponder » (emissione di impulsi del satellite, su comando da terra, e determinazione del tempo di percorso), la frequenza dovrà rimanere fra i 300 e i 700 MHz. Nei sistemi, infine, basati sulla misura dell'effetto Doppler nei segnali ricevuti, le frequenze dovranno preferibilmente cadere fra 100 e 1000 MHz.

2.4 *Satelliti meteorologici.* — Il successo dei vari satelliti meteorologici della serie « Tiros » lanciati dagli Stati Uniti, la preparazione della nuova serie dei satelliti « Nimbus », rendono di grande importanza, per lo sviluppo della meteorologia su scala mondiale, l'assegnazione di adeguate bande di frequenza per tali ricerche.

Mentre per il tracking può bastare la consueta banda fra 136 e 138 MHz, la trasmissione dei dati (in particolare delle fotografie delle nubi) dovrebbe avvenire nella banda, sino ad oggi usata, fra 1700 e 1710; questa banda fu già assegnata dalla conferenza di Ginevra del 1959, ma non in uso esclusivo.

Si progetta ora di dotare tali satelliti di piccoli radar per l'osservazione delle nubi (su frequenze intorno ai 35 GHz) e delle precipitazioni (su frequenze vicine a 10 GHz); è prevista anche l'emissione di microonde di frequenze corrispondenti ai massimi di assorbimento da parte del vapor acqueo (23 GHz) e dell'ossigeno atmosferico (60 GHz), ciò al fine di studiare la distribuzione di tali componenti atmosferici.

2.5 *Veicoli spaziali pilotati.* — Le comunicazioni fra veicoli spaziali pilotati e le stazioni a terra comprendono, oltre al collegamento telefonico a due vie, la trasmissione dei dati di comando, controllo, guida, navigazione, la trasmissione televisiva, e inoltre uno speciale collegamento per i casi di emergenza.

Si prevede che la fase sperimentale dei voli pilotati continuerà per almeno dieci anni, e in questa fase, mentre alcune funzioni (come il tracking, i controlli, ecc.) potranno essere svolte sui canali già proposti per i veicoli pilotati, occorre disporre di una banda per comunicazioni radiotelefoniche sotto i 25 MHz (così da assicurare la riduzione anche al di là dell'orizzonte visibile dal veicolo), e di una banda fra 100 e 600 MHz, avente una larghezza di circa 0,5 MHz, e con una elevatissima protezione dalle interferenze; praticamente, tale banda dovrebbe essere assegnata in uso esclusivo, dato che, in condizioni di emergenza, la vita del pilota dipende soltanto dalla possibilità di trasmettere al pilota istruzioni o comandi diretti da terra al veicolo stesso.

Specialmente nella fase di rientro le condizioni dei radiocollegamenti si fanno assai difficili, a causa della formazione di uno strato di « plasma » attorno al veicolo, ossia di uno strato di gas atmosferici fortemente ionizzati a causa del calore che si svolge per l'attrito incontrato dal veicolo nel suo rientro nell'atmosfera; soltanto onde di frequenza assai elevata, forse superiore ai 10 GHz, potranno sorpassare questo strato senza subire un assorbimento troppo elevato, ed è appunto in questa gamma di frequenze che occorrerà assegnare una delle bande di emergenza per le comunicazioni con i veicoli spaziali pilotati.

2.6 *Radio diffusione diretta dai satelliti.* — Allo stato attuale, non si prevede certo prossima la realizzazione di emissioni di radio diffusione da satelliti con potenza tali che la ricezione a terra possa avvenire con i normali apparecchi di uso domestico. Quando si pensi che occorrerebbero trasmettitori a bordo dei satelliti con potenze effettive irradiate che nel campo delle V.H.F. dovrebbero superare i 100 kW, e si tiene presente che le potenze massime emesse ora dai satelliti sono dell'ordine di una decina di watt, si vede quali difficoltà si incontrino in tale campo. E ciò senza tener conto delle non meno lievi difficoltà circa la scelta di programmi che devono interessare e risultare graditi ad assieme di popolazioni diverse per lingua e struttura politica.

2.7 *Radio Astronomia.* — L'impiego di sistemi riceventi di elevatissima sensibilità, dotati in genere di dispositivi di integrazione dei segnali nel tempo, rende assai difficile il problema della scelta delle frequenze per le osservazioni di radio astronomia, sia che si tratti della ricezione delle radioonde emesse da sorgenti cosmiche, sia che si tratti della ricezione delle onde dirette da trasmettitori terrestri su corpi celesti, e da questi retrodiffuse verso terra (Astronomia « Radar »); in quest'ultimo caso, l'elevatissima potenza dei trasmettitori pone il problema della interferenza nei sistemi di comunicazione terrestri.

La Conferenza di Ginevra del 1959 aveva raccomandato la protezione di alcune bande di frequenza, e in particolare di quella relativa alla emissione da parte dell'idrogeno cosmico (1420-1427) MHz; in pratica, tuttavia, l'elevato livello delle interferenze rende in molti Paesi assai difficili le osservazioni radioastronomiche.

La condivisione delle frequenze con altri servizi, specie nella banda U.H.F., appare assai difficile, a meno di non installare gli osservatori in località assai lontane dai trasmettitori dei servizi terrestri, e protette da catene montuose. In alcuni casi si può pensare a una condivisione

nel tempo, ossia a una sospensione in certi periodi della giornata delle emissioni dannose per le osservazioni radioastronomiche.

CONCLUSIONE.

Il quadro sommario che si è cercato di dare delle esigenze dei vari sistemi di comunicazione connessi con le ricerche e le applicazioni delle nuove tecniche spaziali può dare un'idea della complessità dei problemi che sorgono sul piano internazionale, specie per quanto riguarda l'assegnazione delle frequenze e l'eliminazione delle interferenze.

In particolare, i contrasti fra le esigenze delle ricerche, specie di quelle radio astronomiche, e la pressante richiesta di bande di frequenze per servizi terrestri di estrema importanza sia nel campo civile che in quello militare, danno luogo a problemi che a volte sembrano insolubili.

Mi sia consentito di formulare il voto che si trovi la possibilità di assicurare lo svolgersi anche di quelle ricerche che, pur non offrendo ora alcuna possibilità di pratica applicazione, hanno tuttavia il nobile intento di approfondire le nostre conoscenze sull'universo che ci circonda e di elevare il nostro spirito nella contemplazione delle meraviglie che l'universo stesso racchiude.