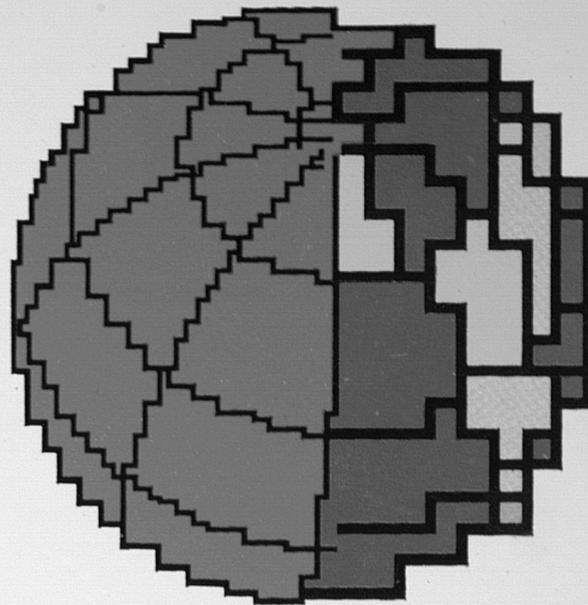


**Istituto Nazionale
di Geofisica**



Verifica sperimentale dei modelli di
radiopropagazione ionosferica

C. Bianchi

Pubblicazione n. 545

Verifica sperimentale dei modelli di radiopropagazione ionosferica

CESIDIO BIANCHI

INTRODUZIONE

... contribuisce in misura notevole con i normali sondaggi ionosferici
... Osservatori di Gibilmara e Monte Porzio, allo studio della fisica
... nella regione mediana. Tale metodo rimane ancora il principale
... per quanto riguarda i rilevamenti della densità elettronica

C. Bianchi

... insufficienti quando si vogliono studiare problemi che
... relazione spazio-temporale nei problemi di fisica ionosferica,
... termine, riguardo alla propagazione di onde
... studio della dinamica della ionosfera e della
... ricombinazione); nei collegamenti tra
... dell'alta atmosfera per studiarne le possibili

Istituto Nazionale di Geofisica
Via di Villa Ricotti 42
00161 Roma



Ottobre 1992

VERIFICA SPERIMENTALE DEI MODELLI DI RADIOPROPAGAZIONE IONOSFERICA

CESIDIO BIANCHI

INTRODUZIONE

L'U.O. Aeronomia contribuisce in misura notevole con i normali sondaggi ionosferici verticali, eseguiti negli Osservatori di Gibilmanna e Monte Porzio, allo studio della fisica dell'alta atmosfera nella regione mediterranea. Tale metodo rimane ancora il principale metodo di indagine almeno per quanto riguarda i rilevamenti della densità elettronica in alta atmosfera.

Tuttavia, queste misure sono insufficienti quando si vogliono studiare problemi che comportano una maggiore risoluzione spazio-temporale nei problemi di fisica ionosferica, come nei modelli di previsione a breve termine, riguardo alla propagazione di onde elettromagnetiche per via ionosferica; nello studio della dinamica della ionosfera e della cinetica chimica ionosferica (fotoionizzazione e ricombinazione); nei collegamenti tra le grandezze caratteristiche della bassa e dell'alta atmosfera per studiarne le possibili interazioni.

Per cui nel corso di questi ultimi anni, in collaborazione con altri istituti di ricerca, sono stati approntati una serie di esperimenti per eseguire e migliorare la precisione della misura e intraprendere una serie di campagne per il rilevamento di alcune caratteristiche ionosferiche.

Il primo tipo di misura riguarda il rilevamento delle grandezze caratteristiche dell'alta e media ionosfera denominate HRIS (high repetition ionospheric sounding). Per la loro peculiarità queste misure sono state utili in primo luogo per la verifica dei modelli di previsione a breve termine e altri studi di dinamica ionosferica. Per questi esperimenti, collaborano con l'I.N.G., il Centro Internazionale di Fisica Teorica (ICTP) di Trieste e l'Osservatorio Geomagnetico di Belgrado

In collaborazione con l'Istituto di Ricerche Onde Elettromagnetiche (IROE) di Firenze, sono state avviate dal novembre 1990 misure volte al rilevamento delle caratteristiche della bassa ionosfera, regione D, tramite ricevitori in VLF (very low frequency).

Si sono poi eseguite misure non sistematiche con il metodo del sondaggio obliquo per la verifica pratica dei modelli di propagazione di onde elettromagnetiche per riflessione ionosferica (collaborazione tra I.N.G. e ENEA Casaccia anche nell'ambito del progetto Antartide).

Misure di spostamento HF-Doppler per il rilevamento dei "travelling ionospheric

disturbance" TID a cui sono associate onde interne di gravità (AGW's) e altri fenomeni di propagazione ondose e di deriva. Questo progetto è stato avviato in collaborazione con l'Università di Salonicco.

MISURE HRIS

Da queste misure è stata prodotta una grossa mole di dati ancora in gran parte da analizzare e integrare con altri metodi di indagine quali misure Doppler-HF e dati provenienti da misure di VLF della stazione ricevente installata a Roma e Firenze.

Per la realizzazione di queste misure è stato necessario un lavoro di preparazione e di test sugli strumenti impiegati in maniera che le misure stesse fossero riproducibili nelle stesse condizioni strumentali e per rendere i valori delle grandezze misurate maggiormente quantificabili e attendibili.

In altri termini, dato che le grandezze che andiamo a rilevare non sono direttamente misurabili, ma si devono dedurre da altre grandezze radioelettriche, si rendono necessarie operazioni di verifica e di messa a punto degli apparati agendo su grandezze puramente radioelettriche (potenza d'uscita, sensibilità, selettività e dinamica del ricevitore etc).

In pratica la gran parte delle misure sono state eseguite con le Digisonde 128P che operano come Radar-HF a frequenza variabile e si possono schematizzare come nella fig. 1.

Le HRIS sono perciò misure particolari che vengono effettuate in determinati periodi e si ripetono a seconda delle grandezze in studio ogni 2, 5, 10 e 15 minuti. Servono soprattutto a mettere in risalto le variazioni a breve periodo di alcune grandezze tra cui N_{max} (massimo di densità elettronica), $h_{N_{max}}$ (altezza virtuale di N_{max}), f_{min} (frequenza minima ricevuta), $h'E$ (altezza della regione E).

Queste misure richiedono l'intervento di un operatore, in quanto non si possono ottenere con la stessa procedura automatica dei normali ionosondaggi. Soprattutto le misure a 2'30" richiedono una continua programmazione dei parametri di sondaggio.

Tali misure sono effettuate, come si vedrà, in particolari ore a seconda delle caratteristiche che si vogliono mettere in risalto.

Il rilevamento di N_{max} e $h_{N_{max}}$ ogni 2'30", per esempio, mette in evidenza il tasso di produzione elettronica per fotoionizzazione e il riscaldamento brusco della termosfera.

A questo fenomeno abbiamo dato una certa importanza perchè a esso potrebbe essere legato l'innescò di perturbazioni ondose AGW's (onde interne di gravità atmosferiche) dovute all'espansione violenta dell'aria in cui è immerso anche il plasma ionosferico non appena il sole illumina la termosfera nella transizione notte-giorno (terminatore).

Perturbazioni a più breve periodo sono messe in evidenza anche durante le ultime tempeste magneto-ionosferiche.

Le stesse misure sono poi fatte in periodi equinoziali, periodo durante il quale vi

è una più intensa attività nella magnetosfera e ionosfera (*substorm activity*) e per un confronto diretto con i periodi di solstizio.

Altre campagne di misura di questo tipo sono state programmate per i prossimi mesi in periodi ricorrenti anche per avere un quadro più completo delle grandezze osservate.

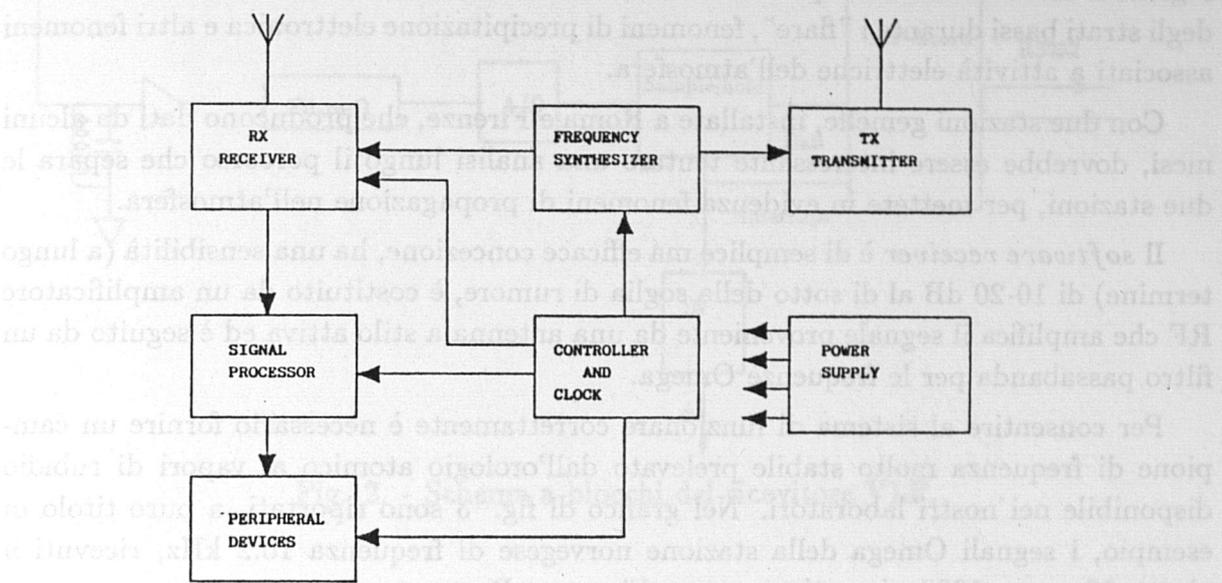


Fig. 1. Schema a blocchi della ionosonda impiegata nelle misure HRIS che utilizza la tecnica a impulsi con frequenza variabile da 1 a 20 MHz.

MISURE DI VLF

Oltre le già citate campagne di misura eseguite dall'U.O. Aeronomia con apparecchiature di sondaggio verticale ionosferico, per estendere e integrare le conoscenze anche a quote più basse della ionosfera, ci stiamo avvalendo anche di altri metodi di indagine.

In collaborazione con l'IROE che già fornisce misure di densità elettronica integrata (TEC), è stato installato presso la sede di Via di Villa Ricotti dell'ING un *software receiver* per la ricezione di onde VLF (very low frequency). Il *software receiver* è stato realizzato da L. Ciraolo dell'IROE.

Alle frequenze di nostro interesse (10-15 kHz) le onde elettromagnetiche viaggiano nella guida d'onda superficie-ionosfera con una attenuazione di 2-3 dB per ogni 1000 km e vengono emesse da stazioni Omega disposte in tutti i continenti per favorire le triangolazioni.

La stazione ricevente VLF è costituita da un ricevitore il cui diagramma a blocchi è riportato in fig. 2. Il *software receiver* interfacciato con un acquirente, costituito da un personal computer (PC), rivela fase e ampiezza del segnale in arrivo dalle emittenti che forniscono segnali per la radiolocalizzazione impiegata nella navigazione. Dato che, per svariate ragioni, i parametri che caratterizzano la guida d'onda variano al variare delle condizioni ionosferiche, ecco che uno studio sistematico del segnale ricevuto fornisce

infomazioni su alcune caratteristiche della bassa ionosfera (altezza e densità elettronica).

Con un tale metodo si possono osservare oltre a variazioni più o meno codificate della regione D anche fenomeni di perturbazioni ionosferiche, fenomeni di intensa ionizzazione degli strati bassi durante i "flare", fenomeni di precipitazione elettronica e altri fenomeni associati a attività elettriche dell'atmosfera.

Con due stazioni gemelle, installate a Roma e Firenze, che producono dati da alcuni mesi, dovrebbe essere interessante tentare una analisi lungo il percorso che separa le due stazioni, per mettere in evidenza fenomeni di propagazione nell'atmosfera.

Il *software receiver* è di semplice ma efficace concezione, ha una sensibilità (a lungo termine) di 10-20 dB al di sotto della soglia di rumore, è costituito da un amplificatore RF che amplifica il segnale proveniente da una antenna a stilo attiva ed è seguito da un filtro passabanda per le frequenze Omega.

Per consentire al sistema di funzionare correttamente è necessario fornire un campione di frequenza molto stabile prelevato dall'orologio atomico ai vapori di rubidio disponibile nei nostri laboratori. Nel grafico di fig. 3 sono riportati, a puro titolo di esempio, i segnali Omega della stazione norvegese di frequenza 10.2 kHz, ricevuti il giorno 12- nov.- 1990, rispettivamente a Firenze e Roma

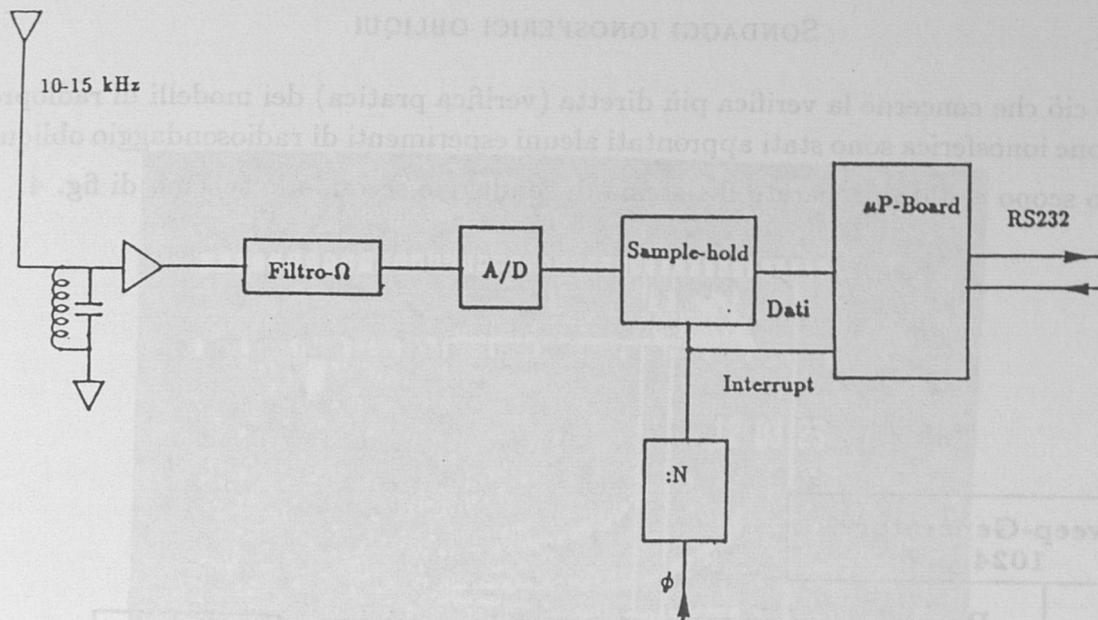


Fig. 2. - Schema a blocchi del ricevitore VLF.

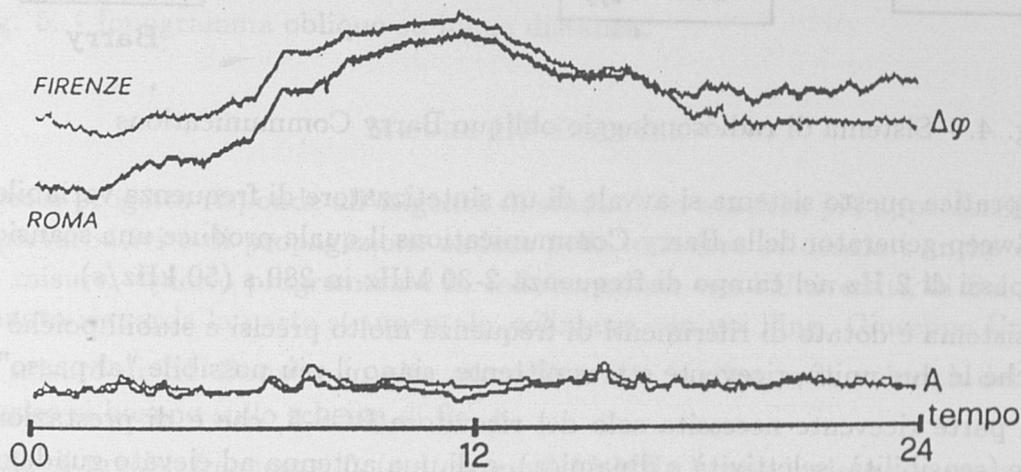


Fig. 3. - Regrazioni di un giorno del segnale VLF. I due grafici sono relativi alla stazione di Roma e Firenze.

SONDAGGI IONOSFERICI OBLIQUI

Per ciò che concerne la verifica più diretta (verifica pratica) dei modelli di radiopropagazione ionosferica sono stati approntati alcuni esperimenti di radiosondaggio obliquo.

Allo scopo è stato preparato il sistema di sondaggio secondo lo schema di fig. 4.

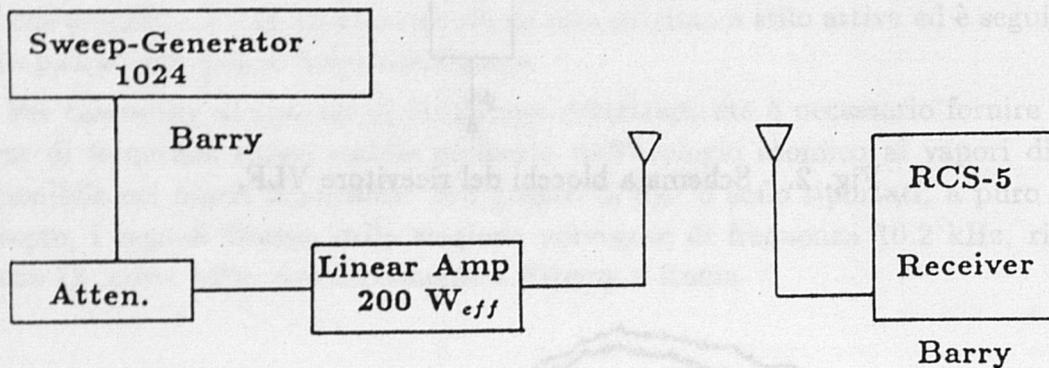


Fig. 4. - Sistema di radiosondaggio obliquo Barry Communications

In pratica questo sistema si avvale di un sintetizzatore di frequenza variabile (VFO) 1024 Sweep-generator della Barry Communications il quale produce una scansione lineare a passi di 2 Hz nel campo di frequenza 2-30 MHz in 280 s (50 kHz/s).

Il sistema è dotato di riferimenti di frequenza molto precisi e stabili poichè è necessario che le due unità, ricevente e trasmittente, siano il più possibile "al passo".

La parte ricevente necessita solo del ricevitore RCS-5, che è di prestazioni molto elevate (sensibilità, selettività e dinamica), e di una antenna ad elevato guadagno per il collegamento a lunghe distanze.

Per i collegamenti con l'Antartide ci siamo serviti dell'antenna log-periodica Granger dell'ING installata presso ENEA-Casaccia; altre prove sono state effettuate dall'Osservatorio di Monte Porzio. Tali esperimenti, anche se molto interessanti dal punto di vista della radiopropagazione, sono stati limitati soltanto a pochissime ore a causa della temporanea disponibilità del ricevitore RCS-5 Barry. Comunque abbiamo avuto modo di collaudare il sistema nell'estate 1990 con esperimenti a corta distanza e successivamente con l'Antartide con collegamenti di 16000 e 24000 km di cui mostriamo un tipico ionogramma obliquo (fig. 5).

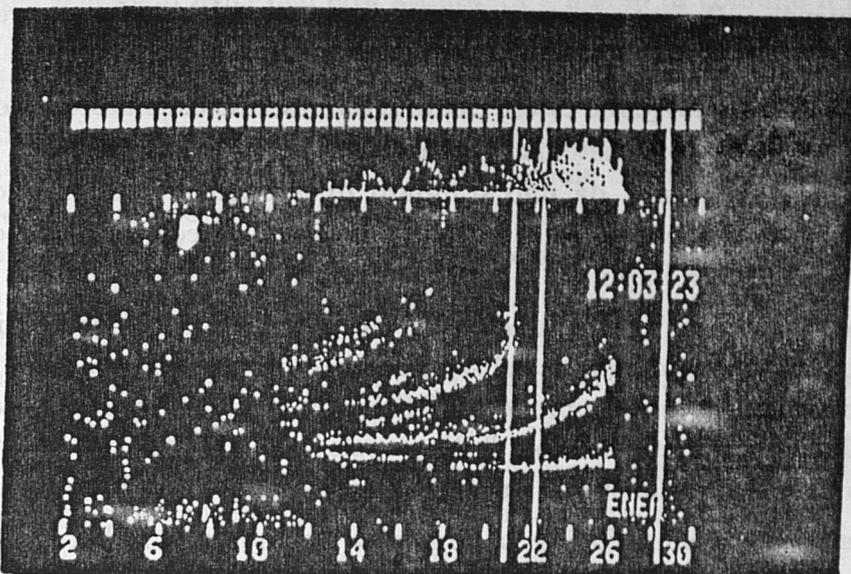


Fig. 5. - Ionogramma obliquo su lunga distanza.

MISURE HF-DOPPLER

Questo progetto risponde all'esigenza di studiare in maniera più approfondita fenomeni perturbativi e di propagazione ondose nella ionosfera evidenziati anche con altri tipi di misure. Questo programma è in collaborazione con l'Università di Salonicco, e per quanto riguarda la parte strumentale, collabora con noi l'ing. Giuseppe Urbini.

Le misure di HF-Doppler in alta atmosfera atte a rilevare le velocità del plasma ionosferico si basano sullo schema di fig. 6.

Onde di precisa frequenza f_0 (nel campo 3-18 MHz) sono inviate per mezzo di una antenna nella ionosfera dove sono riflesse. L'apparato ricevente in condizioni ionosferiche statiche capta l'onda riflessa di frequenza f_0 ; ma in condizioni ionosferiche non statiche la frequenza f_0 subirà uno spostamento $\pm \Delta f$ dipendente dalla velocità con cui si sposta il plasma ionosferico, che è assimilabile a una sorgente in movimento. In particolare, dallo spostamento in frequenza $\pm \Delta f$, quantificabile in decimi di Hertz, si risale alla componente della velocità del plasma ionosferico lungo la direzione di propagazione dell'onda elettromagnetica inviata. Sono stati compiuti esperimenti preliminari tra la stazione trasmittente di Monte Porzio, dove è stato realizzato il dispositivo, e la stazione ricevente presso l'Università di Salonicco.

L'apparato trasmittente è rappresentato dal diagramma a blocchi in fig. 7, di cui si

darà una rapida descrizione delle unità che lo costituiscono.

Il generatore di frequenza è molto stabile e si avvale di un sintetizzatore basato sul principio PLL (phase locked loop) che, dopo un periodo di "warm-up" di un giorno, fornisce una frequenza sufficientemente stabile per essere impiegata in misure di questo tipo.

L'oscillatore locale che dovrebbe essere ricavato dallo stesso oscillatore base del primo dispositivo per rendere tutto il sistema "phase coherent", è stato ricavato, almeno in questa prima fase sperimentale, da uno standard di frequenza di 5 MHz disponibile presso il laboratorio dell'osservatorio di Monte Porzio, ed è necessario per ottenere le funzioni per il modulatore a impulsi.

Il modulatore ad impulsi "pulse modulator" peggiora la bontà della misura e dà anche molti problemi in sede di analisi del segnale, però ciò è necessario perchè una tale forma d'onda non disturba le comunicazioni HF in quanto la potenza media di uscita dallo stadio finale è irrilevante essendo il "duty cycle" di $3 \cdot 10^{-3}$. Cioè con ≈ 3 kW di potenza di picco all'uscita dello stadio finale trasmettiamo ≈ 9 W di potenza media.

Se si considera che la sensibilità e la dinamica dei normali radiorecettori non è molto elevata, il segnale trasmesso non è minimamente avvertito. Questo ci consente di fare esperimenti in ogni canale di frequenza senza nessuna limitazione oraria. Un altro vantaggio è stato quello di poter sfruttare la catena di amplificazione in precedenza realizzata con parte dell'hardware della strumentazione di sondaggio verticale.

plasma ionosferico in movimento

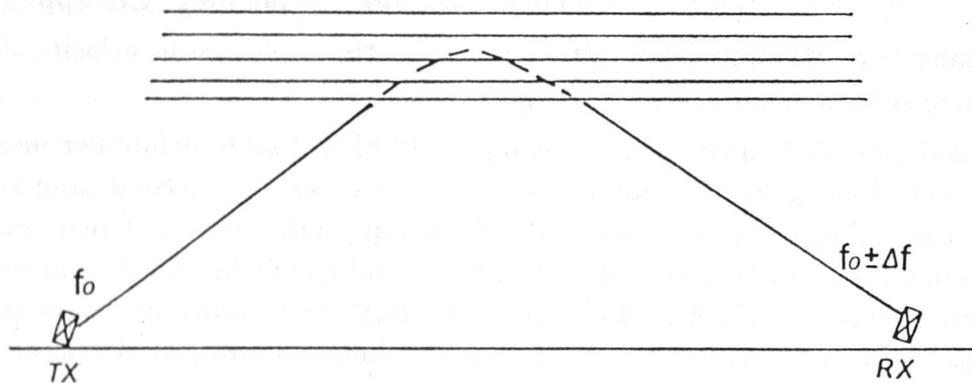


Fig. 6. - Principio di misura HF-Doppler per rivelare la velocità del plasma ionosferico;

CONCLUSIONI

I vari metodi di misure sopra descritti si integrano bene fornendo un quadro più completo dei fenomeni fisici dell'alta atmosfera e hanno in comune il fatto che tutte le grandezze ionosferiche misurate sono dedotte da grandezze radioelettriche sfruttando le tecniche tipiche della fisica ionosferica.

Con questa serie di nuove misure di grandezze che caratterizzano l'alta atmosfera si copre uno spettro più ampio sia nella scala spaziale che nella scala temporale rispetto alle misure sistematiche di sondaggi ionosferici verticali. Infatti, con le misure di VLF si rilevano grandezze tipiche della bassa ionosfera aumentando il campo di altezze esplorate e con misure di sondaggio ionosferico obliquo si estende la scala spaziale in senso orizzontale, mentre con misure HRIS e HF-Doppler si estende la scala temporale per il rilevamento delle periodicità al limite teorico del periodo legato alla cosiddetta di frequenza di galleggiamento (buoyancy frequency).

È ormai accettato il fatto che molti fenomeni dell'alta atmosfera sono meglio compresi e si mettono meglio in evidenza solo con serie di misure che comportano una integrazione di varie tecniche come quelle qui esposte.

BIBLIOGRAFIA

- L. CANDER, P. DOMINICI, B. ZOLESÌ (1990). Atmospheric gravity waves and ionospheric modelling, *Adv. Space Res.*, Vol.10, No.8
- LJ.R. CANDER, B. ZOLESÌ E C. BIANCHI (1990). Behaviour of the mid-latitude ionospheric during HRIS sounding *presentato al COSPAR 25/6-6/7 L'Aia.*
- LJ. R. CANDER, B. ZOLESÌ E C. BIANCHI (1991). The state of the ionospheric F-region electronic density over Rome during the HRIS campaign, *presentato al III workshop del PRIME Roma 21-25 jan. 1991.*
- T. XENOS, S. KOURIS, C. BIANCHI E B. ZOLESÌ (1991). Comparison of the influence of terminator phenomenon on the f0F2 values and Doppler shifts imposed on an ionospheric link, *Proceedings IRI (International Reference Ionosphere)*, Atene 3-6 Ott.
- C. BIANCHI, L. BLASI, M. CERRONE, M. DE SIMONE, B. ZOLESÌ (1991). Esperimenti di radiosondaggio obliquo tra la base italiana in Antartide (Baia di Terra Nova) e Roma, *PING N.532 (pubblicazione interna ING).*