

SU ALCUNI FATTORI GEOFISICI NELLE RADIOCOMUNICAZIONI

STELIO SILLENI

1. *Introduzione.* — A questo convegno dell'Associazione Geofisica sono state presentate soluzioni di diversi problemi. Io mi limiterò a presentare invece problemi che attendono una soluzione soddisfacente.

Si tratta di quelle conoscenze della geofisica che debbono servire di base ai calcoli degli ingegneri radiotecnici. Occorre conoscere, di alcuni fattori geofisici, i valori regolari per diversi tempi e per le località in cui si intende istituire le radiocomunicazioni. Trattandosi, per la maggior parte, di fattori soggetti anche a variazioni casuali, è pure necessario studiare la statistica di queste variazioni, distinguendo quelle funzioni che seguono una distribuzione normale e quelle che seguono altri tipi di distribuzione, e determinando i parametri delle distribuzioni statistiche.

1. *Condizione fondamentale del collegamento.* — Possiamo presentare la condizione fondamentale da soddisfare per la trasmissione di messaggi via radio sotto la forma della relazione seguente

$$W_s(R) = W_s(Q)$$

nella quale

$W_s(R)$ è l'energia del segnale che trasmette un messaggio, *ottenuta* con grado di affidamento R ;

$W_s(Q)$ è l'energia del segnale *occorrente* perché il messaggio abbia qualità Q .

Precisiamo, per prima, la *qualità* Q . Alla nozione intuitiva di qualità corrisponde, rigorosamente, il numero di messaggi differenti tra cui il messaggio trasmesso può essere stato scelto. Assumendo unità logaritmiche e riducendo all'unità di tempo si ha la *capacità* occorrente per il canale di trasmissione espressa in quantità di informazione per unità di tempo. Se il segnale pervenisse attraverso un mezzo costante, si avrebbe una capacità dipendente dal metodo di codificazione e decodificazione (modulazione, manipolazione...) scelto; e che al massimo

potrebbe raggiungere il valore dato dalla formula di HARTLEY generalizzata (1).

$$C_1 = F \log_2 \left(1 + \frac{W_N}{W_S} \right)$$

in cui

C_1 è la quantità di informazione trasmessa nella unità di tempo;

F è la larghezza di banda utilizzata;

W_S è l'energia del segnale;

W_N è l'energia del disturbo.

Quindi W_S (\bar{Q}) resta definita dai fattori suelencati, oltre che dal tipo di codificazione scelto.

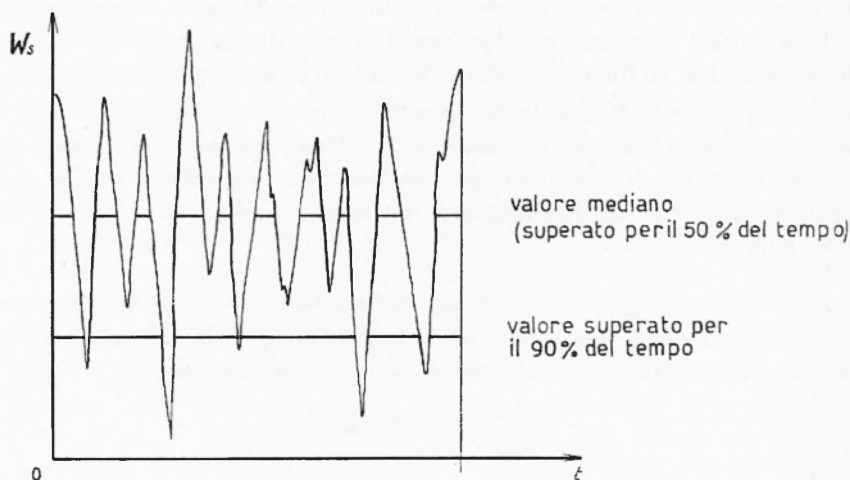


Fig. 1

Il *grado di affidamento* è la percentuale del tempo durante la quale la trasmissione è possibile con qualità uguale o migliore di quella fissata. Nella fig. 1 è rappresentato l'andamento dell'intensità del segnale ricevuto. Se l'intensità del segnale occorrente è uguale all'intensità mediana del segnale ottenuto, la trasmissione è utilizzabile per il 50% del tempo; ha cioè un grado di affidamento del 50%. Se invece l'intensità del segnale occorrente è uguale al decile inferiore di quella ricevuta, la trasmissione è utilizzabile per il 90% del tempo; ha cioè un grado di affidamento uguale al 90%. Si osservi che le variazioni indicate nella figura 1 rappresentano una struttura grossolana dell'andamento del segnale, tale cioè che in ciascun intervallo di possi-

bile trasmissione (rappresentato dal tratto orizzontale) è possibile la trasmissione di un messaggio. La struttura fine delle variazioni del segnale interviene invece a far variare la capacità del canale di trasmissione ⁽²⁾. Ovviamente la distinzione fra struttura fine e struttura grossolana sarebbe arbitraria se le variazioni del segnale fossero tutte casuali. Ma le variazioni dell'intensità del segnale nel tempo contengono, oltre ad una componente casuale, anche una componente regolare do-

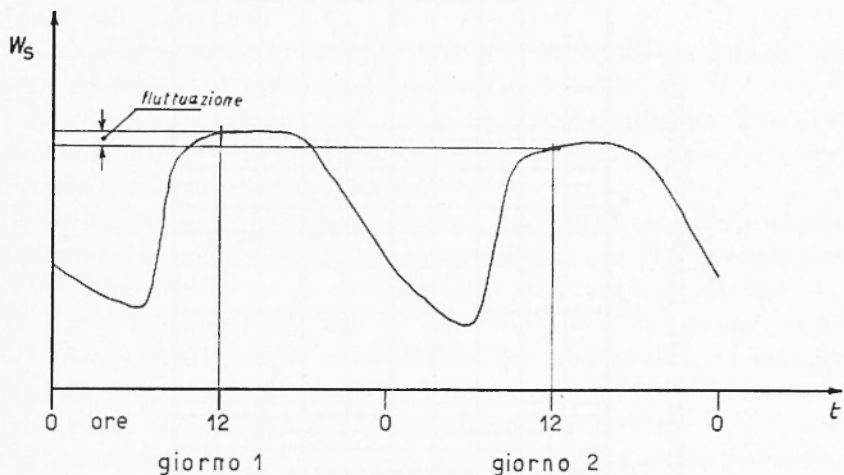


Fig. 2

vuta alle variazioni, preminentemente cicliche, dei fattori della propagazione. Appartengono alla struttura fine (influenzando quindi sulla qualità) le variazioni casuali a breve intervallo (secondi o minuti); esse vengono dette *affievolimenti*. Alla struttura grossolana vanno invece attribuite le variazioni casuali che si sovrappongono a quelle regolari, per cicli diversi. A parità di fase, tra un ciclo e l'altro si hanno *fluttuazioni* (fig. 2); queste intervengono nella nozione di affidamento.

Come si vede, questa distinzione è piuttosto laboriosa; i primi approcci allo studio di un certo tipo di propagazione vengono fatti quindi conglobando tutti gli effetti delle variazioni casuali in un'unica *percentuale di tempo perduta*; per la propagazione ionosferica uno studio del genere è stato fatto fin dal 1931-34, in base ad una statistica su collegamenti radiotelefonici transoceanici, effettuati mantenendo la frequenza prossima al suo valore ottimo (fig. 3) ⁽³⁾.

La relazione fondamentale scritta all'inizio considera come unica variabile casuale l'intensità del segnale in arrivo; in realtà anche l'intensità dei disturbi è soggetta a variazioni casuali, e quindi è tale anche

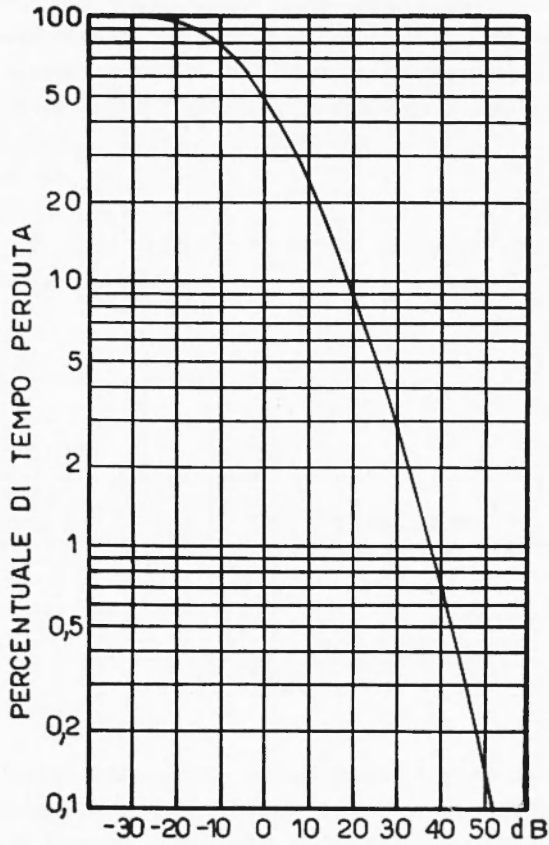


Fig. 3

il membro di destra dell'equazione. Né queste due variabili casuali possono essere considerate indipendenti. Scriverò perciò la condizione fondamentale nella forma

$$\frac{W_s}{W_s(Q)} (R) = 1$$

ricordando che l'affidamento R va riferito a tutta la frazione e che, quindi, se sono variabili casuali tanto il numeratore quanto il denominatore si deve considerarne anche la correlazione.

II. *Fattori che intervengono nella propagazione.* — La propagazione terrestre delle onde hertziane (*) viene distinta secondo i modi:

- per onda di superficie
- per onda ionosferica
- per onda troposferica.

La propagazione ionosferica è caratteristica delle onde decametriche; queste vengono utilizzate a distanze che vanno dalle decine di km fino al giro del mondo.

La propagazione troposferica è caratteristica dei ponti radio stabiliti tra sommità montane, su frequenze da 30 MHz in su.

La propagazione per onda di superficie viene utilizzata negli altri casi; essa prevale alle piccole distanze, ed accompagna uno degli altri due modi alle distanze intermedie.

Oltre che dalla frequenza, per date condizioni del mezzo di propagazione, il modo viene scelto anche dall'antenna che influisce con la sua direttività e con la polarizzazione delle onde irradiate.

La propagazione per onda di superficie è determinata dai fattori del suolo: permittività e conducibilità. La conducibilità ha maggior peso alle frequenze della banda 7 ed inferiori. Essa è stata determinata, per l'Italia, con un accurato lavoro della Radio Italiana (4) nel corso del quale sono stati trovati valori compresi fra 0,3 e 100 millimho/metro. La costante dielettrica prevale alle frequenze più alte. Il suo valore relativo al vuoto varia, per i diversi terreni, da 3 (terreni desertici) a 80 (acqua). Non mi risulta che di essa siano state fatte misure sistematiche per l'Italia.

(*) Sono definite *onde hertziane* le onde elettromagnetiche di frequenza compresa fra 10 kHz e 3 000 000 MHz; le denominazioni correntemente impiegate per distinguere i diversi ordini di grandezza sono le seguenti:

<i>Frequenza</i>	<i>Onde</i>	<i>Abbrev. americana</i>	<i>Banda C.C.I.R.</i>
da 10 kHz a 30 kHz	miriametriche	VLF	4
da 30 kHz a 300 kHz	kilometriche	LF	5
da 300 kHz a 3 MHz	ettometriche	MF	6
da 3 MHz a 30 MHz	decametriche	HF	7
da 30 MHz a 300 MHz	metriche	VHF	8
da 300 MHz a 3 000 MHz	decimetriche	UHF	9
da 3 000 MHz a 30 000 MHz	centimetriche	SHF	10
.....			

Questi due fattori, ai fini tecnici, si possono considerare costanti nel tempo. La loro variazione da luogo a luogo è però rimarchevole, ed uno dei problemi attualmente interessanti è lo studio dei « percorsi misti ».

Nella troposfera la propagazione avviene tanto più facilmente quanto più il terreno è lontano dal percorso del raggio. L'indice di rifrazione varia con l'altezza, e perciò il raggio non è rettilineo. Normalmente si ha un raggio curvo con la concavità rivolta in basso. Si ha così un effetto di compenso della curvatura terrestre del quale, nei calcoli tecnici, si tiene conto assumendo propagazione rettilinea e raggio terrestre aumentato. Fin dal 1933 gli americani ⁽⁵⁾ hanno adottato per questo raggio fittizio un valore normale uguale a 4/3 del raggio geometrico; secondo recenti misure effettuate in Italia si dovrebbe assumere un rapporto leggermente maggiore di 1,4 che viene superato per il 70% del tempo (*). Nei collegamenti entro l'orizzonte la variazione del raggio fittizio fa variare l'effetto delle riflessioni, modificando la differenza di fase, e quindi la risultante, del raggio diretto e dei raggi riflessi ⁽⁶⁾ (questi ultimi hanno naturalmente fase e intensità dipendenti dal terreno e dalla frequenza, dipendenza che nei casi di pratico rilievo non dà luogo a variazioni che superano un ordine di grandezza); nei collegamenti al di là dell'orizzonte effettuati per diffrazione l'attenuazione di diffrazione è minore quando il raggio terrestre fittizio è maggiore. In questo caso variazioni di intensità di 20 decibel (***) sono frequenti, e non rare variazioni di 30-40 decibel. Quando il campo mediano, al di là dell'orizzonte, diventa minore di circa 1 centesimo di quello che si avrebbe nello spazio libero la teoria dei raggi (anche applicando la correzione della diffrazione) cade in difetto. Bisogna considerare invece la propagazione per onde nell'atmosfera non omogenea ⁽⁷⁾; si ottiene così una ulteriore attenuazione, al di là di questa distanza, di soli pochi decimi di decibel per chilometro; questa teoria comincia ad avere conferme sperimentali ⁽⁸⁾. Non sembra inopportuno notare che lo studio della propagazione troposferica delle frequenze maggiori di alcune centinaia di MHz, effettuato durante la

(*) Commissione per le ricerche sulla propagazione delle onde ultracorte e delle microonde presso l'Istituto Superiore P. T. - Verbale della riunione del 25 febbraio 1954.

(**) Il *decibel*, correntemente impiegato nella tecnica delle telecomunicazioni, è una misura del rapporto di potenze definita da

$$R_{(db)} = 10 \log_{10} \frac{P_1}{P_2}$$

guerra ai fini della tecnica radar, ha dovuto essere profondamente riveduto quando si è trattato di applicarlo ai ponti radio, per i quali la propagazione avviene in vicinanza della superficie terrestre.

Ritornando ai casi in cui è applicabile la teoria dei raggi, preciserò che uno studio analitico della questione richiede la conoscenza del valore dell'indice di rifrazione in funzione dello stato dell'atmosfera e del suo contenuto in vapore acqueo. Recenti determinazioni ⁽⁹⁾ portano alla relazione approssimata

$$(n - 1) \times 10^6 = \frac{77,6}{T} \left(p + 4810 \frac{e}{T} \right)$$

valida entro limiti abbastanza ampi, nella quale

n è l'indice di rifrazione;

p è la pressione totale in millibar;

e è la pressione parziale del vapor d'acqua, in millibar;

T è la temperatura assoluta in °K.

Il concetto di raggio terrestre fittizio è utilizzabile direttamente soltanto in quei casi in cui la variazione dell'indice di rifrazione si può ritenere lineare con l'altezza. Nei casi reali ciò avviene soltanto per una frazione del tempo. In complesso pare accertato che la distribuzione dell'intensità del segnale è log-normale nel tempo; cioè è gaussiana la distribuzione dell'intensità di campo espressa in decibel ⁽¹⁰⁾.

Negli ultimi vent'anni sono state fatte numerose misure di campo troposferico specialmente in Inghilterra e negli Stati Uniti. Le differenze orografiche e climatiche tra detti Paesi e l'Italia sconsigliano però dall'estendere senz'altro i risultati stranieri al territorio nazionale, per il quale occorrerà disporre dei dati di esperienze che, dopo il lungo intervallo della guerra, sono state ora riprese.

Nella propagazione ionosferica delle onde decametriche si hanno due condizioni di verso opposto che danno luogo ad un massimo:

— l'intensità di ionizzazione della regione più alta raggiunta dalle onde determina la frequenza massima rinviata (*frequenza critica* nel caso di rinvio verticale);

— l'intensità di ionizzazione delle regioni ionosferiche attraversate dà luogo a perdita di energia per trasformazione in calore, perdita che, per ciascuna unità di percorso, è proporzionale all'inverso

del quadrato della frequenza (fatta eccezione per le frequenze prossime a quella giromagnetica, che varia con l'intensità del campo magnetico terrestre).

Idealmente, potremmo scegliere in ciascun istante una frequenza di collegamento ottima, che evidentemente sarebbe uguale alla massima frequenza rinviata.

In pratica però un collegamento radio può avere assegnato un piccolo numero di frequenze. Bisogna perciò che queste siano pre-

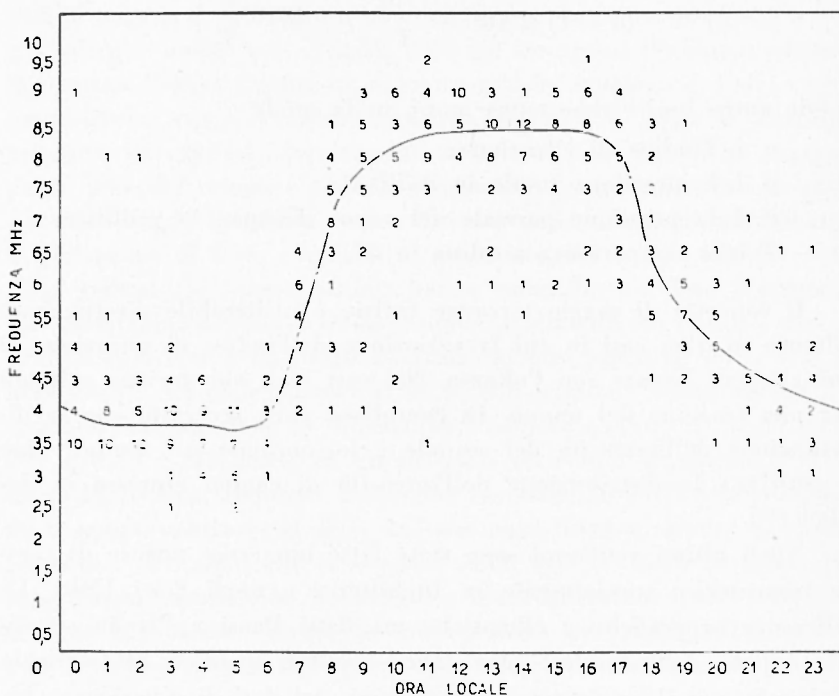


Fig. 4

determinate in modo da rendere massimo l'affidamento del collegamento. A questo fine occorre conoscere l'andamento dei valori medi della frequenza critica e dell'assorbimento, nonché la loro distribuzione statistica intorno al valore mediano. La fig. 4 presenta i risultati di misure della frequenza critica effettuate nell'ottobre 1951 con la ionosonda di Roma. Ciascuna quota indica il numero dei giorni nel mese nei quali la frequenza critica è stata compresa entro $\pm 0,25$ MHz dal valore scritto in ordinata. Si può vedere che la conoscenza del

valore mediano (indicato dalla curva) sarebbe ben scarsa senza la conoscenza della distribuzione dei valori intorno a quello mediano.

Circa questa distribuzione vi è da osservare che, da molti anni, si assume che il 90% dei valori supera una frequenza uguale a 0,85 volte quella mediana. Ciò però non basta, perché

— questa distribuzione è media. Numerose osservazioni hanno mostrato che i valori sono proporzionalmente più sparsi nelle ore precedenti l'alba che non nel resto della giornata;

— il valore indicato esclude le giornate in cui la ionosfera è perturbata. Ora non appare possibile definire in modo preciso le giornate perturbate (mi riferisco alle perturbazioni di tipo aurorale, perché quelle ad inizio brusco « effetto DELLINGER » sono invece ben nette, ma riguardano piuttosto l'assorbimento). Si sa che la percentuale dei giorni perturbati cresce con la latitudine geomagnetica. Anche questa distribuzione andrebbe studiata più a fondo, ed uno studio di carattere locale è imposto dall'influenza, sulla frequenza critica, della latitudine geografica (altezze del sole) oltre che da quella geomagnetica (sensibilità alle perturbazioni). L'attuale divisione della superficie terrestre in tre zone per tener conto di questa duplice influenza è riconosciuta poco soddisfacente dagli stessi americani che l'adottano a fini tecnici per ragioni di semplicità.

Analogo comportamento, per quanto (sembra) con variazioni meno appariscenti, si ha per l'assorbimento. Su questo le misure sono più delicate. Anche qui occorrerebbero valori mediani e scarti normali. La distribuzione istantanea dei valori appare seguire la legge di RAYLEIGH per la composizione di onde che hanno seguito diversi percorsi, con fase casuale. La distribuzione di giorno in giorno (fluttuazione) causata da variazioni dell'assorbimento, sarebbe gaussiana, con uno scarto quadratico medio di 5 db per il caso di lunghi percorsi.

Ricorderò che le onde metriche si propagano anche via ionosfera. Fino a frequenze di un centinaio di MHz la propagazione può avvenire, con probabilità decrescente all'aumentare della frequenza, per rinvio da parte dello strato F2; per effetto della turbolenza nello strato E si ha però trasmissione regolare, dimostrata recentemente ⁽¹¹⁾. L'interesse sulla trasmissione ionosferica di queste onde non è dovuto soltanto alla probabilità di interferenze ⁽¹²⁾ ma anche a possibili future applicazioni della trasmissione regolare.

III. *Disturbi e perturbazioni.* — La formula di HARTLEY generalizzata mostra che l'intensità del segnale occorrente, a parità di altre

condizioni (in particolare: a parità di distribuzione statistica per frazioni di secondo del disturbo) è funzione dell'intensità dei disturbi, e precisamente è ad essa direttamente proporzionale.

Convien distinguere per i disturbi tre diversi punti di inserzione nella catena trasmissiva:

— disturbi che giungono direttamente al destinatario del messaggio;

— disturbi generati nel (circuito della prima valvola del) ricevitore;

— disturbi che entrano nel ricevitore insieme al segnale, sotto forma di radio frequenza captata dalla stessa antenna.

I disturbi del primo gruppo, determinanti quando l'amplificazione complessiva ottenibile è scarsa, sono attualmente poco interessanti salvo casi particolari: p. e. ricezione in ambienti rumorosi come i velivoli.

I disturbi generati nel circuito di ingresso del ricevitore prevalgono alle frequenze maggiori di una trentina di MHz. Per completezza riporto la relazione di NYQUIST ⁽¹³⁾ che dà la potenza di rumore generata in una resistenza

$$P_N = 4 K T B = 4 \times 10^{-21} B_{(H)}$$

in cui

P_N è la potenza generata in watt;

K è la costante di Boltzmann;

T è la temperatura in °K;

B è la larghezza di banda;

il coefficiente numerico è quello che si ottiene per temperatura di 300 °K.

Il valore dato dalla formula va aumentato di 5 a 15 db per tener conto di tutte le cause di disturbo.

Questi disturbi sono stazionari; non variano cioè da un messaggio all'altro.

Molto variabili sono invece i disturbi di origine esterna, ed in particolare quelli atmosferici. Per diverse stagioni cambia il numero e l'intensità delle scariche atmosferiche, ed i transitori da esse generati si propagano prevalentemente via ionosfera, subendovi distorsioni, su distanze da 3000 a 6000 km. Si hanno perciò forti variazioni stagionali e regionali; le variazioni generate dalla propagazione possono essere in correlazione anche forte con la propagazione dei segnali.

Sui disturbi atmosferici, che interessano soprattutto le frequenze minori di 30 MHz, ho riferito altrove ⁽¹¹⁾; mi limiterò ad aggiungere che l'Istituto Nazionale di Geofisica ha in corso l'impianto di una stazione di misura dei disturbi atmosferici nell'osservatorio di S. Alessio (Roma).

Menzionerò soltanto due altri fattori delle radiocomunicazioni, che intervengono dal lato dei disturbi:

- la radiazione astrale nelle bande hertziane;
- la previsione delle perturbazioni ionosferiche.

La radiazione solare ed astrale nelle bande hertziane (banda 8 e superiori) è forse più nota per i nuovi orizzonti dischiusi agli astrofisici; essa però è stata scoperta quale sorgente di disturbo ai radar, e per il radiotecnico deve essere tuttora considerata una sorgente di disturbo non trascurabile nella banda 8. Applicando la formula di NYQUIST ⁽¹²⁾ si individuano, nei corpi celesti, sorgenti di radiazione con una temperatura equivalente di alcuni ordini di grandezza superiore a quella individuata con altre osservazioni, p. e. con la radiazione visibile.

La previsione delle perturbazioni ionosferiche consentirebbe di considerare una notevole parte del tempo perduto nei collegamenti ionosferici fra i fattori sistematici invece che fra quelli casuali. Essa però è ancora basata su metodi eminentemente empirici. Non si sa fare altro che osservare diversi fenomeni solari e metterli in relazione con il successivo verificarsi di perturbazioni, esaminandone la funzione di correlazione. Uno dei mezzi di osservazione è la misura della radiazione solare nella banda 8. Occorrerà che gli astrofisici spieghino molto di più di ciò che si sa adesso, prima di poter portare questa attività dall'empirismo alla tecnica.

Uno dei segni premonitori delle perturbazioni ionosferiche alle latitudini medie è costituito dalle tempeste magnetiche. Ciò è dovuto al fatto che le perturbazioni ionosferiche hanno inizio nelle zone delle aurore polari e si propagano, impiegandovi diverse ore o anche qualche giorno, alle latitudini più basse; la perturbazione magnetica viene invece avvertita dagli osservatori lontani appena si verifica la prima perturbazione ionosferica.

Conclusioni. — Nelle trasmissioni su filo una interruzione viene considerata incidente occasionale. Il collegamento radio è invece affetto da un grado di affidamento limitato per una data qualità di ricezione. Soltanto nei collegamenti per onda di superficie nelle bande 8

e 9 segnale e disturbo si possono considerare praticamente esenti da fluttuazioni. Nei collegamenti per onda di superficie nella banda 7 e inferiori i disturbi (atmosferici) sono soggetti a fluttuazioni. Nei collegamenti via ionosfera, in queste stesse bande, le fluttuazioni intervengono tanto per i disturbi che per il segnale; bisogna considerare anche la loro correlazione. Nelle bande superiori (propagazione troposferica) i disturbi sono generati prevalentemente nell'apparato, e perciò sono da considerare le sole fluttuazioni del segnale.

Generalmente considerazioni economiche limiteranno, caso per caso, il massimo affidamento raggiungibile; per progettare e mettere a punto il collegamento con parametri tali da avvicinarsi all'affidamento massimo occorre disporre di precise nozioni sui fattori geofisici determinanti. È ora evidente che la precisione con cui occorre ricercare questi valori va proporzionata al peso che ciascuno di essi ha nell'affidamento complessivo, ed in considerazione della rilevante variabilità dei fattori e del loro numero la precisione di ciascuno dovrebbe essere di un ordine di grandezza maggiore della precisione che si richiede ai risultati del calcolo. In conseguenza di questa necessità l'adattamento di fattori misurati in altre regioni geografiche conduce ad approssimazioni non sufficienti, e può portare facilmente ad errori di un ordine di grandezza nella valutazione preventiva dell'instabilità del collegamento. In tal caso la loro conoscenza non è inutile, ma l'utilità resta limitata all'impiego di questi dati quali fattori di correzione o quali dati di base per progetti di larga massima.

Questa è la situazione odierna.

Roma — Istituto Nazionale di Geofisica — Maggio 1954.

RIASSUNTO

Le onde hertziane impiegate nelle radiocomunicazioni si propagano nell'atmosfera terrestre (troposfera e ionosfera) ed in presenza del suolo. La ricezione dei segnali deve avvenire nonostante i disturbi che, in tutti i casi di collegamenti a grande distanza, sono generati da agenti terrestri e seguono nella propagazione le stesse leggi dei segnali.

Viene esposto qual è il peso relativo di questi diversi fattori, si accenna all'interesse di una ricerca equilibrata su di essi, ed all'importanza di misurarne alcuni valori significativi nello stesso ambiente nel quale si vuole valutarne l'influenza sulle radiocomunicazioni.

SUMMARY

The Hertzian waves used in radio communication are propagated in the earth's atmosphere (troposphere and ionosphere) and near the ground. The reception of the signals must occur notwithstanding disturbances that, in all cases of long distance circuits, are generated by terrestrial agents and propagated according to the same laws as the signals.

The weight of these various factors is discussed, a balanced research on these questions is noted for interest, and the importance of measuring some significant values under the same conditions in which one wishes to evaluate their influence on radio communication is discussed.

BIBLIOGRAFIA

(1) C. E. SHANNON, *Communication in the Presence of Noise*. Proc. I.R.E., v. XXXVII, p. 10-21 (Gennaio 1949).

(2) J. FEINSTEIN, *Some Information Theory Aspects of Propagation Through Time Varying Media*. Convention Record of the I.R.E., 1954, National Convention, Part I, p. 87-97.

(3) R. K. POTTER and A. C. PETERSON, JR., *The Reliability of Short-Wave Radio Telephone Circuits*. Bell. S.T.J., v. XV, p. 181-196 (Aprile 1936).

(4) G. GALLIGIONI, *Rilievo della conduttività del terreno in Italia*, A. F., v. XX, p. 119-127 (Giugno-Agosto 1951).

(5) J. C. SCHELLENG, C. R. BURROWS and E. B. FERRELL, *Ultra-short-wave Propagation*. Proc. I.R.E., v. XXI, p. 427 (1933).

(6) S. SILLENI, *Note sul progetto dei ponti radio*. Rendiconti della riunione annuale dell'A.E.I., Napoli 1949.

(7) T. J. CARROLL and R. M. RING, *Normal Tropospheric Propagation of Short Radio Waves Well Beyond the Horizon*. MIT, Lincoln Laboratory Technical Report No. 38.

— T. J. CARROLL, *Overcoming the Line-of-Sight Shibboleth with the Air and High Power*. Convention Record of the I.R.E., 1954, National Convention, Part I, p. 121-125.

(8) K. BULLINGTON, *Radio Transmission Beyond the Horizon in the 40- to 4000-Mc Band*. Proc. I.R.E., v. XLI, p. 132-135 (Gennaio 1953).

(9) E. K. SMITH, JR. and S. WEINTRAUB, *The Constants in the equation for atmospheric refractive index at radio frequencies*. Jour. Research of N.B.S., v. L, p. 39-41 (Gennaio 1953).

(10) L. SACCO, *La distribuzione statistica della intensità dei segnali radio nella troposfera e nella ionosfera*. Rass. Poste e Telecomunicazioni, v. XXII, p. 55-72 (Febbraio 1954).

(11) BAILEY, BATEMAN ed altri, *A New Kind of Radio Propagation at Very High Frequencies Observable over Long Distances*. The Physical Review, v. LXXXVI, p. 141-145 (Aprile 1952).

— J. FEINSTEIN and C. SALZBERG, *Ionospheric Reflection of VHF Radio Waves*. N.B.S. Report, n. 1812 (Luglio 1952).

(12) T. N. GAUTIER, JR. and C. J. SARGENT, *Prediction of the Likelihood of Interference at Frequencies of 30 to 42 Megacycles in Alaska*. Journal of Research of the N.B.S., v. LII, p. 21-31 (Gennaio 1954).

(13) H. NYQUIST, *Thermal Agitation of Electric Charge in Conductors*. Phys. Rev., v. XXXII, p. 110-113 (Luglio 1928).

(14) S. SILLENI, *Misura dei radio disturbi atmosferici*. Rendiconti dell'A.E.I. Bologna (Settembre 1950).