

Sull'irregolarità di ricezione dei segnali orari ad onde corte

E. PROVERBIO (*)

ricevuto il 6 novembre 1959

VARIAZIONI IRREGOLARI E PERIODICHE DI INTENSITÀ DI RICEZIONE.

1. La ricezione di segnali orari da parte di stazioni appositamente attrezzate permette il collegamento e l'omogeneizzazione dei vari tempi locali col Tempo Universale Uniforme Provvisorio (TU2). La rete su scala mondiale dei servizi orari dà la possibilità di confrontare non solo i vari tempi ma anche tutti i risultati e le osservazioni che contengono come parametro l'unità di tempo.

Attualmente i segnali orari trasmessi dalle stazioni trasmettenti sono di due tipi:

- a) segnali di tempo ad onda portante (A_1);
- b) segnali di tempo modulati, generalmente a 1 KHz (A_2).

Naturalmente ogni stazione di servizio orario riceve ed utilizza segnali dei due tipi, ad onde corte, ed in misura minore ad onde lunghe.

Il problema della migliore distribuzione nel tempo dei segnali trasmessi, così come quello relativo alla preferenza da attribuire ai segnali a onde decametriche e metriche o a onde chilometriche e miriametriche è attualmente oggetto di seria discussione (1), soprattutto in considerazione della più elevata precisione richiesta nei confronti di segnali e di frequenze campioni, dopo l'introduzione nella tecnica della conservazione del tempo di orologi a risonanza molecolare e atomica.

D'altra parte è noto che la propagazione delle onde radioelettriche è soggetta a diversi fattori, spesso contrastanti, che ne rendono difficile lo studio e laboriosa la discussione dei risultati.

(*) Osservatorio Astronomico di Brera - Milano.

Così, oltre alle difficoltà nella ricezione, derivanti dalle differenze intrinseche tra i vari segnali, numerose perturbazioni fisiche contribuiscono a rendere più difficili e incerte le misure.

Già da lungo tempo esperienze diverse hanno mostrato la dipendenza esistente tra le perturbazioni radioelettriche e i fenomeni solari, e J. H. Dellinger ha potuto mettere in evidenza a questo proposito, perturbazioni periodiche con periodo eguale a quello di rotazione del Sole (²).

È noto anche, nella pratica di ricezione dei segnali orari, che esistono periodi diversi di variabilità, legati a meccanismi e fenomeni fisici di differente natura.

Tra le principali cause teoriche di variazioni periodiche e irregolari sono da annoverare:

a) variazioni diurne e stagionali legate alla densità elettronica degli strati ionosferici E (100 — 120 km) e F_1 (220 — 300 km). Come è noto, la ionizzazione di questi strati viene attribuita, in accordo soddisfacente con l'esperienza, alla radiazione ultravioletta solare. In tal modo essa risulta funzione dell'irraggiamento intrinseco emesso dal Sole e della sua distanza zenitale;

b) variazioni diurne e irregolari, dipendenti dalla regione F_2 . L'origine di queste anomalie è attualmente attribuibile, oltre a radiazioni ultraviolette, all'azione di elettroni veloci, primari o secondari, di origine cromosferica. La correlazione molto evidente tra la variazione del campo magnetico terrestre e la distribuzione della zona di ionizzazione F_2 sembrerebbe avvalorare questa ipotesi;

c) perturbazioni ionosferiche a salita istantanea (PIDB), direttamente legate all'attività solare e interessanti la regione D (80 km), generalmente incapace di influenzare i fenomeni di propagazione ad onde corte. L'origine di questi bruschi e imponenti fenomeni di assorbimento di onde decametriche è dovuto a anormale irraggiamento ultravioletto in dipendenza di eruzioni cromosferiche brillanti (³);

d) fenomeni di *fading* dovuti a interferenza di onde percorrenti cammini leggermente diversi.

Lo studio e la interpretazione di questi fenomeni, sia dal punto di vista sperimentale che teorico, è della più grande importanza, ed ha portato un contributo fondamentale alla conoscenza della morfologia dinamica e della fisica dell'alta atmosfera ed alla fisica solare.

Di non minore importanza sono i risultati diretti ed indiretti riguardanti il problema della propagazione delle onde radioelettriche.

Per quanto riguarda quest'ultimo, è naturale che esso sia oggetto di grande attenzione da parte di tutti coloro che sono interessati al problema della trasmissione dei segnali orari. Per i servizi dell'ora in particolare, lo studio delle variazioni a breve e lungo periodo dell'intensità di ricezione dei segnali orari provenienti dalle più diverse località può essere di grande utilità, non solo per la scelta del programma di ricezione, ma anche per lo studio dei ritardi, legati alla forma ed alla intensità degli strati ionizzati. Inoltre l'analisi e l'interpretazione di eventuali irregolarità di ricezione a breve e lungo periodo può portare qualche contributo ad una più approfondita conoscenza dei fenomeni ionosferici.

Le ricerche effettuate da M.me A. Stoyko utilizzando i dati ed il materiale raccolto al B.I.H. hanno fornito recentemente importanti risultati nello studio della propagazione delle onde decametriche (*).

In quest'ordine di idee, sulla base del materiale raccolto in un anno e mezzo di ricezione di segnali orari al servizio dell'Ora dell'Osservatorio di Brera (VIII, 1957-II, 1959), comprendente più di 11.000 registrazioni, mi sono proposto di trovare una possibile soluzione ai seguenti due problemi di grande interesse pratico:

a) mettere in evidenza una eventuale differenza tra i vari tipi di segnali orari ricevuti;

b) individuare eventuali irregolarità periodiche o non periodiche di ricezione a lungo periodo.

RISULTATI SPERIMENTALI

2. Il metodo di riduzione dei dati utilizzati è basato sull'uso della *scala di intellegibilità*, applicata alla ricezione dei segnali orari. A tale scopo ciascuna stazione è stata caratterizzata, ad ogni ricezione, da un numero, corrispondente alla *bontà* dei segnali orari secondo la seguente scala di intellegibilità:

- 0 Assenza di segnale udibile.
- 1 Segnale difficilmente intellegibile.
- 2 Segnale intellegibile solo di tanto in tanto.
- 3 Segnale intellegibile.
- 4 Segnale bene intellegibile.
- 5 Segnale perfettamente intellegibile.

Il punteggio è stato attribuito oltre che sulla base dell'audizione auricolare in cuffia, anche utilizzando le indicazioni di un milliamperometro, situato nel circuito di registrazione all'uscita della bassa frequenza, avendo cura che la ricezione di ogni stazione avvenisse possibilmente in analoghe condizioni di sensibilità e potenza.

Per tutto il periodo in esame si è poi ritenuto che la sensibilità propria del ricevitore utilizzato non abbia subito sensibili variazioni. In tal modo il valore attribuito al segnale risulta proporzionale, con buona approssimazione, all'intensità del segnale stesso all'entrata del ricevitore.

Nella Tabella I sono elencati, l'indicativo e l'ora di trasmissione delle stazioni prese in considerazione in questa analisi con la loro rispettiva frequenza in MHz, il tipo del segnale, la direzione geografica e la

Tabella I

N.	Indicativo	T. U.	MHz	Tipo	Direzione	Distanza	Potenza	q_m	Δq
1	DIZ	17 55	4,525	A ₁	N	844	—	0.826	0.086
2	DMR ₂ (DHI)	11 00	6,075	A ₁	N	921	—	.474	.126
3	OMA	20 15	2,500	A ₂	NNE	656	1	.660	.096
4	OMA	21 15	2,500	A ₂	NNE	656	1	.764	.084
5	OLB ₅	21 30	3,170	A ₁	NNE	656	8	.792	.086
6	RWM	14 00	(^a)	A ₁	ENE	2272	—	.638	.178
7	RWM	22 00	(^a)	A ₁	ENE	2272	—	.674	.254
8	VHP	20 00	8,478	A ₁	ESE	16476	—	.258	.148
9	LOL	21 00	17,180	A ₁	SSW	11168	—	.496	.118
10	PPE	20 30	8,720	A ₁	SSW	9241	—	.216	.094
11	IBF	07 25	5,000	A ₂	W	127	0.3	.754	.140
12	IBF	11 15	5,000	A ₂	W	121	0.3	.734	.122
13	WVV	21 15	15,000	A ₂	W	6790	9	.654	.136
14	WVV	22 15	15,000	A ₂	W	6790	9	.688	.102
15	NSS	08 00	9,425	A ₁	W	6761	—	.464	.181
16	NSS	18 00	9,425	A ₁	W	6761	—	.542	.128
17	FYA ₃	21 00	7,428	A ₁	NW	668	—	.784	.136
18	TQC ₃	20 00	10,775	A ₁	NW	668	—	.630	.088
19	MSF	20 25	2,500	A ₂	NW	1079	0.5	.604	.104
20	MSF	20 55	5,000	A ₂	NW	1079	0.5	.738	.090
21	HBN	20 20	(^{aa})	A ₂	NW	302	3	.718	.108
22	HBN	21 50	(^{aa})	A ₂	NW	302	3	.676	.092

(^a) Le frequenze utilizzate sono state, in periodi diversi, rispettivamente di 5,380 MHz, 7,690 MHz, 10,050 MHz, 11,450 MHz, 14,880 MHz.

(^{aa}) Alternativamente sui 2,500 MHz e 5,000 MHz come da schema di emissione.

distanza in chilometri di ciascuna di esse rispetto a Milano, nonchè la potenza della portante in kW. La figura 1 mostra invece la distribuzione delle stazioni stesse e la loro distanza relativa.

Poichè la presente ricerca ha lo scopo di mettere in evidenza eventuali periodicità o irregolarità a medio e lungo periodo, si è calcolato di quindici in quindici giorni per ogni stazione S_i ($i = 1, 2, \dots, 22$), il valore dell'indice di ricezione ϱ per mezzo della formula

$$\varrho = \frac{\sum P_i}{5N}, \quad (i = 1, 2, \dots, N)$$

nella quale P è il punteggio attribuito ad ogni ricezione i (variabile da 0 a 5), ed N il numero delle ricezioni quindicinali (risultato in media eguale a 14).

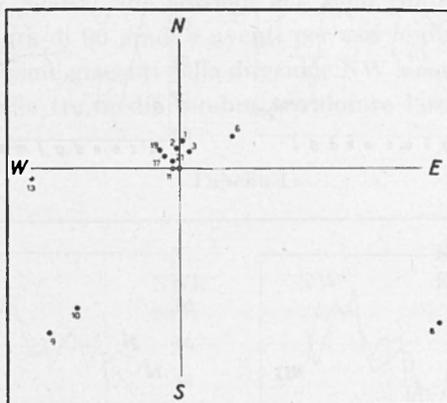


Fig. 1

I valori di ϱ calcolati sono stati utilizzati per costruire i grafici di figura 2, che danno in funzione del tempo l'andamento di quest'ultima grandezza. I valori limiti di $\varrho = 0$, e $\varrho = 1$ equivalgono a ricezione nulla (segnali non udibili) ed a ricezione ottima (segnali perfettamente intelleggibili).

L'analisi di questi diagrammi permette di distinguere variazioni stagionali abbastanza evidenti (DIZ, OMA, WWV, IBF, NSS), presentanti generalmente un massimo invernale ed un minimo estivo. Contrastano con questo andamento le stazioni francesi e HBN che sembrano presentare un'inversione di fase. Sovrapposte a queste variazioni a carattere apparentemente periodico si notano variazioni irregolari, tali, in certi casi (DHI, FYA₃, TQC₉) da alterare o nascondere le variazioni

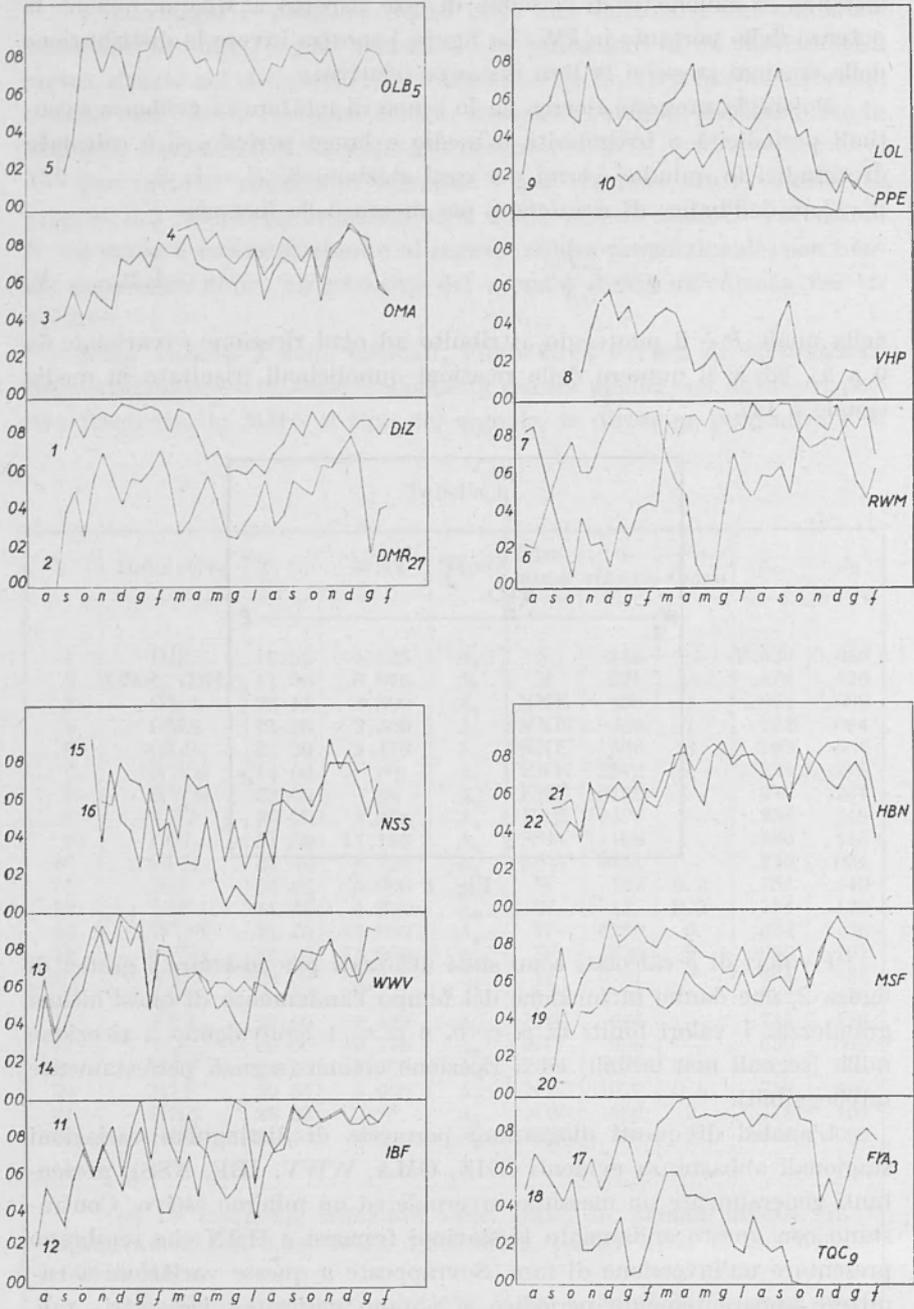


Fig. 2

apparentemente periodiche. Di notevole interesse, ma purtroppo inficiata dalla non omogeneità delle frequenze di ricezione la stazione di Mosca (RWM).

Nelle due ultime colonne della Tabella I sono inoltre riportati a titolo indicativo i valori medi ρ_m , calcolati graficamente, dell'indice di ricezione ρ relativi a ciascun diagramma, estendentisi su un intervallo pressochè costante, con il loro scarto medio $\Delta\rho$. L'ampiezza di questo scarto inversamente proporzionale alla regolarità dei diagrammi stessi, da un'idea delle variazioni più o meno grandi subite dall'intensità dei segnali durante il periodo in esame. La distribuzione dei valori di $\Delta\rho$ presenta una interessante simmetria; questi valori infatti tendono ad aumentare andando da N e S verso W e E, sempre considerando Milano come centro del sistema di orientamento. Nella Tabella II sono riportate le medie dei $\Delta\rho$ relativi alle stazioni che sono contenute nei due coni interi con apertura di 90 gradi e aventi per assi le direzioni NS ed EW, e quelle delle stazioni giacenti nella direzione NW a contatto dei due coni. L'andamento delle tre medie sembra avvalorare l'osservazione fatta in precedenza.

Tabella II

	N NNE SSW	NW	ESE ENE W
$\Delta\rho$	0.092	0.124	0.153

Possiamo quindi sintetizzare le conclusioni che si possono trarre da questa semplice ma laboriosa analisi nei seguenti punti:

a) L'analisi dei diagrammi e in particolare dei valori calcolati dai $\Delta\rho$ mette in evidenza una maggiore irregolarità nell'intensità di ricezione dei segnali orari andando dalla direzione del meridiano verso quella del parallelo locali.

b) La ricezione dei segnali orari presenta in genere un andamento periodico, con apparente periodo annuo e con fase differente a seconda della stazione considerata. In generale si riscontra un massimo invernale ed un minimo estivo, o viceversa, nell'intensità di ricezione. Contempo-

raneamente sono individuabili ampie variazioni irregolari o con periodo minore.

Un'ultima interessante osservazione può essere ricavata confrontando due diagrammi di una medesima stazione, relativi ad ore diverse di ricezione. Il confronto mostra una progressiva variazione di q in funzione dell'intervallo di tempo intercorso tra le due ricezioni (la variazione, piccola ad esempio per l'emissione di WWV a distanza di un'ora, diventa imponente per certe stazioni, come IBF, che durante il periodo estivo presenta un massimo scarto tra i due q).

Queste conclusioni hanno spinto a cercare una possibile interpretazione sulla base della teoria della propagazione delle onde elettromagnetiche decametriche, con particolare riferimento allo studio della variazione reale od apparente dell'intensità di ricezione delle onde stesse.

PROPAGAZIONE DELLE ONDE DECAMETRICHE E INTERPRETAZIONI DELLE IRREGOLARITÀ DI RICEZIONE.

3. L'intensità teorica di propagazione delle onde decametriche dipende, come è noto, principalmente da due fattori:

a) assorbimento ionosferico in funzione della frequenza di collisione elettronica;

b) focalizzazione o diffusione delle onde elettromagnetiche secondo le leggi dell'ottica geometrica della propagazione.

L'assorbimento ionosferico $\sigma = \log E_0/E_1$, cui è soggetto il campo delle onde decametriche (*) trasmesse da una stazione A, dovuto a cessione di energia da parte delle onde elettromagnetiche stesse agli elettroni liberi di uno strato ionosferico, è variabile da strato a strato, presentando però un massimo di assorbimento nello strato F (F_1 e F_2). I parametri di cui σ risulta funzione sono molto numerosi; per esempio, per lo strato D, responsabile di variazioni improvvisi ed intense di assorbimento (PIDB), si può porre

$$\sigma = \frac{1}{h} \frac{(1 + 0.0035 R) \cos^{3/4} z}{\cos \alpha (f + f_L)^2},$$

(*) E_0 rappresenta l'intensità del campo all'entrata, E_1 quella all'uscita dello strato ionosferico.

dove k è un fattore di proporzionalità, z la distanza zenitale del Sole, α l'angolo di incidenza alla base dello strato ionizzato, e f la frequenza del segnale. Poichè inoltre è

$$R_m = \frac{1}{15} \sum_{i=m-6}^{m+6} R_i ,$$

in cui R rappresenta il numero di Wolf relativo al mese i , e poichè la frequenza critica f_L risulta

$$f_L^2 = \frac{N e^2}{\pi m} ,$$

nella quale e ed m sono rispettivamente la carica e la massa dell'elettrone, ed N rappresenta la densità elettronica in un punto dello strato, si può avere un'idea del numero dei fattori che influenzano l'assorbimento stesso.

Molto più complessa, soprattutto in relazione alle variazioni a lungo periodo, è l'influenza che sulla variazioni stesse di ricezione viene determinata da fenomeni di focalizzazione.

Considerando il problema in prima approssimazione, trascurando cioè l'azione di campi elettrici e magnetici esterni (ad esempio il campo magnetico terrestre), e considerando il problema piano (approssimazione sufficientemente accettabile fino a distanze di 1000-1500 chilometri), si ha, nell'ipotesi di una distribuzione parabolica di N nello strato, che la distanza D tra la stazione emittente A ed il punto A' nel quale l'onda rifratta ritorna sulla Terra, può essere espressa dalla relazione

$$D = 2 h \operatorname{tang} \alpha + y \frac{f}{f_c} \sin \alpha \operatorname{Log} \left| \frac{f_c + f \cos \alpha}{f_c - f \cos \alpha} \right| . \quad [1]$$

Questa relazione, di notevole importanza nello studio della propagazione, si presta, come è noto, a interessanti considerazioni. In essa h e y rappresentano rispettivamente l'altezza della base dello strato e il suo semispessore.

La distanza minima $D_0 = 2 h \operatorname{tang} \alpha$ rappresenta il raggio del cerchio all'interno del quale non è possibile la ricezione delle onde trasmesse dalla stazione A sotto un angolo di incidenza α . Nella figura 3 viene presentato qualitativamente l'andamento della famiglia di curve [1], con parametro α , in funzione di f . La famiglia [1] ammette l'involuppo $I(f)$ che rappresenta la frontiera tra le coppie (f, D) fisicamente compatibili e incompatibili.

A sinistra dell'involuppo $I(f)$ ogni punto è dunque punto d'incontro di due curve $D(a') = D(a'')$; ciò significa che per ogni frequenza f di emissione esistono due cammini diversi delle onde propagantesi in uno stesso piano ma con due diversi angoli di incidenza a' , e a'' , che pervengono in uno stesso punto alla distanza $D(a') = D(a'')$ dal centro A di emissione.

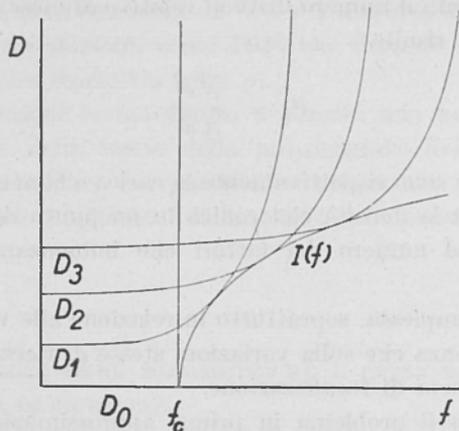


Fig. 3

Ai fini dello studio delle variazioni dell'intensità del segnale è indispensabile tener conto della distribuzione, nella zona esterna al cerchio di raggio minimo, dell'energia irradiata dalla stazione stessa. Dallo studio della funzione $D(a)$, si trova che tale energia si distribuisce, nell'ipotesi semplificatrice di un'antenna non direttiva, in maniera irregolare, presentando un massimo di addensamento proprio nell'intorno del raggio D_0 (fenomeno di focalizzazione), degradando poi velocemente per distanze $D > D_0$.

Questa conclusione risulta di notevole importanza per l'interpretazione delle variazioni di intensità di ricezione, poichè essa giustifica teoricamente variazioni anche irregolari dell'intensità di ricezione in dipendenza di variazioni della frequenza f di ricezione.

Ben più interessanti risultano però le conclusioni, se si tiene conto nella [1] delle variazioni dei parametri h , y e f_c , dipendenti dalle condizioni ionosferiche.

La frequenza critica f_c , oltre a variazioni diurne, è soggetta a variazioni annuali molto importanti, spesso indipendenti dall'attività solare, come quelle presentanti un massimo invernale ed un minimo estivo (5).

A causa di queste variazioni si comprende come sia la distanza D_0 , sia la massima frequenza f utilizzabile (MUF), che può essere direttamente ricavata da diagrammi del tipo di figura 3, subiscano oscillazioni a breve ed a lungo periodo di notevole rilievo.

Nella Tabella III sono stati calcolati i valori del raggio D_0 della zona di silenzio per frequenze di emissione di 2,500 MHz (valori superiori), 5,000 MHz (valori intermedi) e 10,000 MHz (valori inferiori), in funzione della frequenza critica f_c , espressa in MHz, e dell'altezza virtuale h di riflessione in km, utilizzando la relazione

$$D_0 = 2h \operatorname{tang} \alpha = 2h \sqrt{\frac{f^2 - f_c^2}{f_c}}$$

Tabella III - Valori di D_0

$h \backslash f_c$	2	3	4	5	6	7
300	450	0	0	0	0	0
	1374	798	450	0	0	0
	2940	1890	1344	1038	798	612
350	526	0	0	0	0	0
	1604	932	525	0	0	0
	3430	2204	1568	1212	932	704
400	600	0	0	0	0	0
	1832	1064	600	0	0	0
	3920	2520	1792	1384	1064	816

I dati di Tabella III, messi in relazione alle variazioni a lungo e a medio periodo di f_c e h , mostrano una notevolissima variabilità del raggio D_0 e una conseguente notevole variazione dell'intensità di ricezione che a questa si accompagna per effetto di focalizzazione.

4. Questa breve discussione e i risultati conseguiti, basati sull'attuale teoria della propagazione, ci permettono di attribuire le variazioni di intensità di ricezione riscontrate a fenomeni reali di assorbimento o di focalizzazione. Purtroppo la duplicità della causa e la complessità del fenomeno devono rendere cauto qualsiasi apprezzamento o deduzione affrettata.

Solo lo studio delle variazioni stesse su un intervallo di più anni e perfezionando il metodo di misura potrebbe dare la possibilità di un'analisi più efficace dei risultati sperimentali alla luce della teoria.

La interpretazione dei diagrammi di figura 2 sulla base della teoria della propagazione delle onde decametriche può essere però indirettamente convalidata dallo studio del tempo di propagazione dei segnali orari. Infatti detto ritardo risulta funzione del cammino percorso dal segnale, e quindi, in generale, su distanze abbastanza grandi, del numero delle riflessioni che esso compie nella ionosfera. Si dovrebbe quindi avere per distanze sufficientemente elevate, e ammettendo che su tali distanze l'assorbimento possa avere in un numero sensibile di casi un effetto preponderante, un andamento parallelo tra la variazione a lungo periodo dei ritardi e quella dell'assorbimento. Di conseguenza le curve di figura 2 dovrebbero presentare, sempre per distanze convenientemente elevate, un andamento qualitativo analogo a quello ottenibile con misure di variazioni di tempo di propagazione. Gli unici dati relativi a ricerche di questo tipo sono quelli ricavati da M.me A. Stoyko al B.I.H., relativi all'emissione WWV (*). I risultati ottenuti da M.me A. Stoyko sui ritardi di propagazione corrispondono molto bene all'andamento dei due diagrammi della stazione di Washington di figura 2, presentando un ritardo massimo estivo (massimo di assorbimento) ed un minimo invernale (minimo di assorbimento).

Sarebbe interessante a questo proposito disporre di dati relativi a stazioni diverse per poter confermare questo risultato di notevole portata per quanto riguarda lo studio dei ritardi di propagazione e la variazione a lungo periodo degli strati ionosferici.

Resta comunque viva l'esigenza, allo stato attuale della tecnica e della precisione richiesta nella trasmissione e nel confronto di segnali e di frequenze campioni, di disporre di dati osservativi, almeno approssimativi, riguardanti i parametri fondamentali che interessano il problema della propagazione (f_c , y , h). Ciò permetterebbe di determinare, almeno in prima approssimazione, il cammino delle radionde e ricavare delle relazioni teoriche riguardanti i fenomeni di assorbimento e di propagazione da confrontare con quelli ottenuti sperimentalmente.

Lo stato insufficiente delle nostre conoscenze attuali in questo campo può però indirizzare in un prossimo futuro la tecnica della trasmissione, come abbiamo accennato all'inizio, a prendere in considerazione altri tipi di segnali, nel campo delle onde lunghe o cortissime, che presentano una propagazione molto regolare, e, sotto certe condizioni, indipendente dallo stato della ionosfera.

RIASSUNTO

Dopo aver accennato all'interesse che riveste attualmente nei servizi orari il problema della propagazione dei segnali orari ed in particolare quello relativo alle variazioni dell'intensità di ricezione ed alla sue possibili cause, si espongono i risultati ottenuti sperimentalmente, relativi a queste ultime variazioni, su un periodo di circa un anno e mezzo.

Vengono quindi brevemente discusse la periodicità e le irregolarità dei diagrammi trovati e viene data una possibile interpretazione di queste sulla base della teoria della propagazione.

Il confronto delle variazioni d'intensità riscontrate con quelle relative al tempo di propagazione dei segnali orari per la stazione di WWV, studiate al B.I.H., permette di mettere in evidenza una interessante correlazione tra questi due fenomeni.

RÉSUMÉ

Après avoir montré l'intérêt que le problème de la propagation des signaux horaires, et en particulier celui-ci relatif à la variation de l'intensité de réception et à ses causes possibles, revêt dans les services horaires, on donne les résultats expérimentaux relatifs à ces dernières variations sur une période d'une année et demi à peu près.

Successivement on étudie brièvement la périodicité des diagrammes trouvés et on donne une probable interprétation de ceux-ci sur la base de la théorie de la propagation.

La comparaison des variations d'intensité de réception et celles relatives au temps de propagation des signaux horaires de la station de WWV, étudiées au B.I.H., permette de montrer une intéressante corrélation entre les deux phénomènes.

ABSTRACT

The importance of the problem of the time signal transmissions and, particularly, of the problem of the variations of the intensity of reception and his possible causes are show.

The results of the variations of intensity obtained experimentally during eighteen months about are examined, and a possible interpretation on the base of the propagation's theory is given.

In the comparison of the variations of intensity with the variation of the time of travel of the radio waves, studied at the B.I.H., a interesting correlation between this phenomena is show.

BIBLIOGRAFIA

- (1) DECAUX B., *C. R. du Congrès Inter. de Chronométrie*, Munich, (1959).
- (2) DELLINGER J. H., *Phys. Rev.*, 15, (1935).
- (3) BUREAU R., *VI Rapport de la Comm. pour l'étude des relations entre les Phénom. solaires et terrestres*, 61, (1948).
JOUAST R., *VI Rapport de la Comm. etc.*, 104, (1948).
- (4) STOYKO A., *Ann. Fr. de Chron.* 29, 62, (1959).
- (5) JOUAST R., *L'Ionosphère*, 137, Paris, 1946.
- (6) STOYKO A., *Ann. Fr. de Chron.*, 21, (3), 193, (1951).