

✓ 29

C O N F E R E N Z E
Dell'Osservatorio Astronomico di Milano - Merate
a cura del Direttore
Prof. Francesco Zagar

Serie I

N. 2

Edoardo Proverbio

SU ALCUNI DISTURBI INTERESSANTI LA RICEZIONE DEI SEGNALI ORARI
NEI SERVIZI PER LA DETERMINAZIONE DELL'ORA

Milano
1961

C O N F E R E N Z E

Dell'Osservatorio Astronomico di Milano - Merate

a cura del Direttore

Prof. Francesco Zagar

Serie I

N. 2

Edoardo Proverbio

SU ALCUNI DISTURBI INTERESSANTI LA RICEZIONE DEI SEGNALI ORARI
NEI SERVIZI PER LA DETERMINAZIONE DELL'ORA

Milano
1961

SU ALCUNI DISTURBI INTERESSANTI LA RICEZIONE DEI SEGNALI ORARI NEI
SERVIZI PER LA DETERMINAZIONE DELL'ORA

di Edoardo Proverbio
(Osservatorio Astronomico di Brera)

Riassunto. - Sono studiati sulla base di determinazioni sperimentali e dal punto di vista della distribuzione in frequenza i vari disturbi interni ed esterni ai radiorecettori, che interessano le bande di frequenza da 4 a 7. Si mette inoltre in evidenza l'interesse che questi disturbi presentano nei servizi orari e per la radiotecnica.

Resumé. - Plusieurs perturbations internes et externes aux radiorecepteurs, sur les bandes des fréquences de 4 à 7, sont étudiées sur la base de déterminations expérimentels et en considérant leurs distribution en fréquence. On met en outre en évidence l'intérêt que ces perturbations présentent pour les services horaires et pour la radiotecnique.

Summary. - Some internal and external noises of radio-receivers for the bands of frequency 4 - 7 are studied on the basis of experimental determinations and of them frequency distribution. The interest what these noises present for the time service and the radiotecnique is shown.

I. - Nelle determinazioni di tempo e di longitudine è richiesta attualmente una precisione nella ricezione di segnali orari che ha come limite superiore il millesimo di secondo, questo vale naturalmente ed a maggior ragione nei servizi permanenti dell'ora.

Per ricerche speciali, come quelle riguardanti lo studio della velocità di rotazione della terra ed il problema delle variazioni e fluttuazioni nella propagazione dei segnali orari, è richiesta poi una precisione ben maggiore, dell'ordine di 10^{-4} e 10^{-5} secondi. Dello stesso ordine risultano le precisioni necessarie nei confronti di segnali di tempo campione controllati da orologi a risonanza atomica o molecolare.

Se si tiene presente che queste precisioni sono suscettibili di continuo miglioramento risulta ancora più evidente l'importanza che assumono l'analisi e lo studio di tutti quei fattori che possono alterare di quantità dello stesso ordine la precisione delle operazioni di ricezione.

Il fattore più importante che altera sistematicamente queste ultime operazioni viene attribuito ai ritardi di propagazione e alle costanti di tempo degli apparati riceventi. E' da considerare però che questi ultimi ritardi non sono assoluti ma risultano funzione del tipo e della qualità del segnale ricevuto.

E' noto d'altra parte come questo elemento sia strettamente legato ad una numerosa serie di fenomeni, estranei alla trasmissione ed in gran parte anche alla ricezione che vanno sotto il nome generico di disturbi.

Bisogna sottolineare, a questo proposito, che già per precisioni dell'ordine di 1 msec non è più sufficiente la determinazione dei ritardi strumentali, quasi sempre ottenuti in condizioni di ricezione ideali e cioè in mancanza di disturbi, ma si rende spesso indispensabile, per ricerche di elevata precisione, la conoscenza e lo studio di tutti quei fenomeni che intervenendo durante la ricezione di segnali orari, sono spesso capaci di rendere illusoria la precisione dei risultati delle misure. E ciò anche in considerazione del fatto che nelle operazioni di ricezione di segnali orari in bassa frequenza (AF) o in media frequenza (IF) non è conveniente spingere troppo a fondo la selettività del ricevitore, che, a prescindere dai ritardi che essa introduce può portare a danni spesso maggiori deformando la forma e soprattutto l'inizio del segnale in funzione dell'intensità del segnale stesso e di parametri ancora poco conosciuti. Risulta anzi consigliabile in queste operazioni escludere o usare con estrema oculatezza circuiti selettivi sia in frequenza che in ampiezza. Specialmente dannosi, nell'ordine di precisione precedentemente considerato, risultano poi ogni genere di filtri, soprattutto a bassa frequenza, che introducono ritardi inaccettabili (1). Il parametro più immediato e pratico per una determinazione qualitativa globale di una ricezione è dato dal rapporto:

$$n = \frac{S}{D} ,$$

tra la potenza del segnale e del disturbo all'uscita utilizzata del ricevitore. La conoscenza del valore di questo rapporto è interessante poichè da esso dipendono sia gli elementi qualitativi della ricezione che quelli quantitativi relativi alle misure eseguite sui segnali ricevuti.

Sfortunatamente risulta in pratica impossibile distinguere l'influenza che i vari disturbi esercitano, ad esempio sul fronte di salita, durante la ricezione dei segnali orari, spesso a basso livello o provenienti da trasmettenti lontane e questo di conseguenza costringe frequentemente ad intervenire a posteriori discriminando il segnale orario a scapito come abbiamo detto della precisione del segnale stesso.

Si è ritenuto quindi necessario, sia per conoscere e studiare a priori l'origine e l'influenza dei fenomeni e dei disturbi radio che da questi provengono, che per individuare e suggerire i mezzi più convenienti per limitare la presenza dei disturbi stessi, analizzare da un punto di vista critico e sperimentale, alcuni dei più importanti fattori che determinano e circostanziano le condizioni di lavoro di un ricevitore di segnali orari, limitandone spesso la sensibilità e danneggiando la precisione delle misure di confronto.

Analisi dei disturbi

2. - Nello studio che ci siamo proposti i disturbi stessi sono stati suddivisi in due categorie fondamentali:

- a) disturbi propri del ricevitore (rumori),
 b) disturbi esterni al ricevitore,

limitatamente a quei disturbi il cui spettro di frequenza cade in una zona delle bande da 4 a 7, che sono quelle attualmente utilizzate per la trasmissione dei segnali orari.

(a) Per quanto riguarda lo studio dei disturbi propri del ricevitore, nell'ipotesi, generalmente soddisfatta in moderni ricevitori professionali, di amplificazione lineare e quindi trascurando fenomeni di distorsione, è necessario introdurre la nozione di fattore di disturbo N , dovuta a T.H. Friis (2),

$$(1) \quad N = \frac{D_u}{S_u} : \frac{D_e}{S_e} ,$$

cioè il rapporto tra i due quozienti della potenza media disturbo-segnale all'uscita ed all'entrata del ricevitore. Nell'ipotesi di linearità, se si indica con $G_p = S_u/S_e$ il guadagno totale di potenza, si può scrivere

$$D_a = D_e G_p , \quad D_a = \frac{D_u}{N}$$

nella quale D_a rappresenta la potenza teorica del disturbo di antenna, dovuta unicamente al segnale di disturbo o fruscio di antenna, all'uscita del ricevitore. La (1) perciò si può scrivere

$$N = \frac{D_u}{D_a}$$

e fornisce il rapporto tra la potenza del disturbo totale all'uscita e quella attribuita al disturbo di antenna, in altre parole N rappresenta il fattore che indica l'aumento di disturbo a causa dei circuiti del ricevitore.

Poichè D_u risulta praticamente la somma della potenza di uscita del disturbo di antenna più le potenze dei disturbi generati nel ricevitore, la precedente può essere scritta sotto la forma

$$N = 1 + \frac{\sum D'_u}{D_a}$$

in cui D'_u rappresenta il contributo delle potenze dei disturbi interni al ricevitore. Sostituendo alle potenze che si sviluppano su una medesima impedenza di uscita i corrispondenti quadrati delle tensioni efficaci, la precedente diventa

$$(1') \quad N = 1 + \frac{\sum e_u'^2}{e_a^2} .$$

L'azione della tensione di fruscio interna e_u' è, come è noto, quasi completamente da attribuire all'agitazione molecolare nei conduttori e nelle resistenze del ricevitore o alla fluttuazione elettronica delle valvole.

Il primo fenomeno può essere valutato quantitativamente sulla base della relazione dovuta a H. Nyquist (3).

$$\bar{e}_1^{-2} = 4 k T \int_{f_1}^{f_2} R df ,$$

che fornisce il valore medio del quadrato della tensione di rumore interno in funzione della temperatura assoluta T e della resistenza R , funzione anch'essa della frequenza f , essendo $k = 1.37 \cdot 10^{-23}$ J/°K la costante di Boltzmann. Poichè in generale si può ritenere R costante nell'intervallo di frequenza che si considera la precedente si può scrivere in termini finiti

$$(2) \quad \bar{e}_1^{-2} = 4 k T R \Delta f ,$$

ora Δf è la banda di frequenza passante in Hz.

Il secondo fenomeno, è causato dal cosiddetto effetto Schrotty, cioè dalle fluttuazioni statistiche della emissione catodica il cui valore medio è dato da una relazione dovuta a J.B. Johnson (4)

$$\bar{i}^{-2} = 2 e I \Delta f ,$$

della quale I rappresenta il valore della corrente anodica ed e la carica dell'elettrone.

Più interessante ai nostri fini è sostituire la precedente con una relazione analoga alla (2), che è possibile introdurre sulla base della considerazione di una resistenza equivalente di fruscio R_{e_q} che si può immaginare in serie alle griglia della valvola (5), in questo caso si può scrivere,

$$(2') \quad \bar{e}_2^{-2} = 4 k T R_{e_q} \Delta f .$$

La (2) e la (2') risultano quindi solo funzione della banda di frequenza passante.

Poichè in genere per un ricevitore professionale, come il ricevitore GPR-90 in uso all'Osservatorio Astronomico di Brera nel servizio dell'Ora, risulta sulla média frequenza, $\Delta f \sim 10$ KHz, si ha alla temperatura di 20°C,

$$\bar{e}_1^2 = 1,6 \cdot 10^{-16} R \quad ,$$

$$\bar{e}_2^2 = 1,6 \cdot 10^{-16} R_{\text{eq}} \quad .$$

Un'ultima considerazione di notevole importanza riguarda il caso, generalmente soddisfatto, in cui l'impedenza di entrata del ricevitore risulta perfettamente adattata all'impedenza d'antenna. In questo caso nella (1') uno dei termini della sommatoria risulterà esattamente eguale al denominatore, e la (1') stessa si potrà scrivere

$$N = 2 + \frac{\sum e_u^2}{e_a^2}$$

da cui si ottiene anche nell'ipotesi ideale in cui $\sum e_u^2 = 0$, che il fattore N non può scendere al di sotto di 3 db.

Le considerazioni precedentemente svolte e le conclusioni cui siamo pervenuti mostrano abbastanza eloquentemente quale sia la reale importanza dei disturbi intrinseci nei ricevitori. La natura di questi disturbi è tale poi da determinare uno spettro di frequenza continuo per cui gli stessi si trovano statisticamente distribuiti in tutte le gamme di frequenza di ricezione. Ricerche moderne (6) hanno cercato di mettere in evidenza una presunta proporzionalità inversa tra le correnti di rumore e la frequenza nell'effetto Schottky, ma i risultati sperimentali sono ancora molto incerti a questo riguardo.

La limitazione di questi disturbi è affidata alla qualità del ricevitore ed a particolari accorgimenti tecnici relativi allo stadio di entrata che è quello maggiormente responsabile dei disturbi stessi. In questo un ruolo di notevole importanza è da attribuire al trasformatore di antenna attraverso il quale viene realizzato l'adattamento di impedenza di antenna.

Naturalmente la portata di questi disturbi è relativa sia al rapporto tra i disturbi propri e disturbi esterni al ricevitore, che risultano in ogni caso preponderanti, sia alla sensibilità richiesta dal ricevitore. Nel campo della ricezione di segnali orari essi possono essere presi in considerazione per ricezioni situate nella banda 7 superiore, cioè per frequenze superiori a 20 - 25 MHz.

La loro importanza aumenterà perciò proporzionalmente se verranno prossimamente impiegate nelle trasmissioni le gamme delle onde metriche, che presentano, in zone ristrette, sensibili vantaggi per quanto riguarda la propagazione.

In questo caso può risultare utile e necessaria una determinazione rigorosa di N utilizzando il cosiddetto metodo di confronto (7).

(b) 3. - Per quanto riguarda i disturbi esterni al ricevitore è utile qualche volta prendere in considerazione separatamente i disturbi vicini, che possono essere in genere classificati **man made noise**, e i disturbi o rumori lontani in prevalenza provenienti da fenomeni di elettricità atmosferica.

Nella presente analisi riteniamo più conveniente però partire dallo studio dei disturbi in funzione delle vie di propagazione degli stessi. Questa distinzione non risulta solo comoda ai fini di una classificazione dei disturbi e della loro ripartizione in frequenza ma necessaria nel caso di una accurata ricerca sperimentale.

Sotto questo punto di vista considereremo le perturbazioni che pervengono al ricevitore seguendo prevalentemente le seguenti vie:

- a) perturbazioni propagantesi per irraggiamento diretto,
- b) perturbazioni che si manifestano per effetto di accoppiamento di capacità tra la rete di alimentazione sede della perturbazione e l'antenna del ricevitore,
- c) perturbazione propagantesi per conduzioni diretta attraverso la rete di alimentazione.

Via di propagazione dei disturbi e loro limitazioni

4. - Al primo gruppo a) possono essere attribuiti i seguenti tipi di perturbazione:

- a₁) perturbazioni atmosferiche e locali (parassiti),
- a₂) perturbazioni che si generano per accoppiamento elettrostatico o capacitivo tra la sorgente di rumore e l'antenna o la sua discesa.

Le perturbazioni atmosferiche, dovute a scariche elettriche, anche lontane, particolarmente frequenti nella stagione estiva, sono specialmente nocive nelle bande 6 e 7 di frequenza e costituiscono senza dubbio un particolare inconveniente di queste bande. Poichè la potenza dello spettro di emissione di questi parassiti sembra diminuire velocemente con l'aumentare della lunghezza dell'onda la loro azione per le onde chilometriche e miriametriche è ridotta ai disturbi la cui sorgente si trovi ad una distanza dal ricevitore notevolmente ridotta. Un interessante studio fatto da S.V. Chandrashekkar Aiya (8) ha mostrato recentemente come durante i temporali e gli uragani le scariche elettriche delle nuvole irradiano rumori radioelettrici il cui spettro è situato in gran parte oltre i 2,5 MHz e per frequenze al di sotto di 0,25 MHz la debole potenza irradiata risulta addirittura indipendente dalla frequenza.

L'influenza di questi fenomeni nel loro insieme, cioè considerando le perturbazioni elettriche generate su tutto il globo dà luogo ad un rumore di fondo continuo in genere a basso livello, particolarmente nelle bande delle onde corte e ultracorte (25 - 30 MHz), ben noto nella tecnica di ricezione.

La difesa contro questi disturbi è limitata all'utilizzazione di particolari tipi di antenne fisse o direzionali.

Al contrario, quantunque la loro influenza sia spesso notevole, è possibile limitare o attenuare i parassiti locali che possono essere facilmente generati da contatti elettrici e scariche di qualsiasi tipo (motori a collettore ecc.). Questi fenomeni sono abbastanza comuni ovunque vengano utilizzati dispositivi meccanici per la formazione di segnali di tempo come contatti meccanici di pendoli astronomici od orologi sincroni al secondo. In queste circostanze sufficiente attenuazione si può ottenere inserendo in parallelo al contatto opportuni condensatori.

Le esperienze eseguite all'Osservatorio di Brera per lo studio dello spettro di frequenza di questi disturbi sono riassunte nella tabella I, nella quale sono indicate, per le frequenze estreme di 0,100 MHz e 10,000 MHz, le attenuazioni dei disturbi causati da contatti meccanici con correnti da 20 a 100 mA, in funzione del valore delle capacità utilizzate.

Il risultato di queste esperienze porta alla conclusione che lo spettro di frequenza dei disturbi in questione interessa soprattutto il campo delle onde lunghe.

Molto più preoccupante risulta invece l'influenza di scariche dovute a spinterogeni e simili.

E' quindi prudente in caso di disturbi pervenuti da queste scariche, schermare completamente la discesa di antenna attraverso la quale possono attuarsi gli accoppiamenti responsabili di simili pericolosi disturbi.

Di minore importanza risultano gli accoppiamenti capacitivi con la discesa di antenna a meno di non essere in presenza di reti secondarie sufficientemente estese in prossimità del ricevitore.

TABELLA I

	0.100 MHz	10.000 MHz
100 pF	disturbo normale	disturbo dimezzato
50.000 pF	disturbo dimezzato	disturbo eliminato
2 μ F	disturbo evanescente	—

5. - Maggiore interesse, anche in considerazione delle ricerche relativamente recenti che hanno messo in evidenza la loro influenza, presentano i disturbi dei gruppi b) e c). Questi ultimi sono prodotti in prevalenza da motori elettrici, raddrizzatori a valvola ed in misura notevole dai tubi a gas dei diversi tipi. Uno studio interessante condotto da L. Blok (9) a questo proposito, ha mostrato come in tutti questi casi la causa principale del disturbo sia da ricercarsi in un accoppiamento capacitivo tra l'antenna e le connessioni con la rete di energia, attraverso la quale si propaga la tensione parassitaria V_a . Questi accoppiamenti mostrati nella figura 1, che rappresenta lo schema equivalente del circuito di entrata di un ricevitore, produ-

cono una variazione di tensione sulla griglia dell'amplificatrice dell'alta frequenza a causa delle correnti parassitarie che passano attraverso le capacità C_r e C_a tra l'antenna e le connessioni verso rete o la terra, e attraverso la capacità C_t tra il primario ed il secondario del trasformatore di alimentazione.

In quest'ultimo caso si dimostra come la corrente parassitaria possa essere direttamente convogliata a terra utilizzando la terra stessa del ricevitore se la resistenza R_1 del filo di terra risulta piccola in confronto alla resistenza R_2 del circuito accordato in alta frequenza.

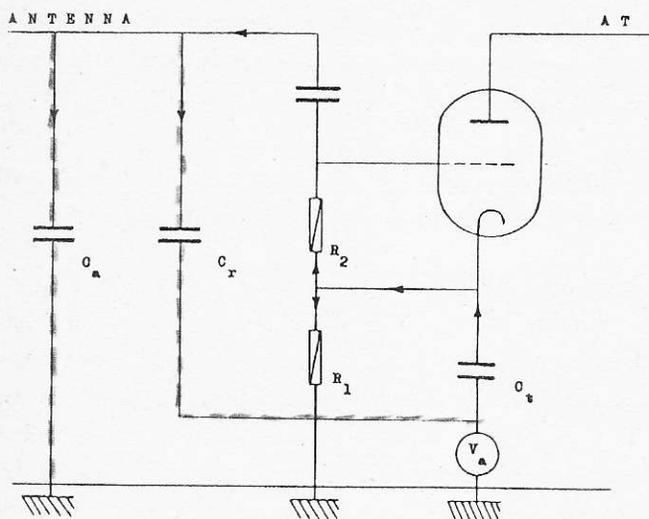


figura 1

Misure sperimentali della tensione perturbatrice V_a nel caso di lampade fluorescenti da 40 W, munite di condensatore antiparassita in parallelo alle lampade, eseguite da Boort, Klerk Kruthof (10), hanno fornito i risultati riassunti nella tabella II nella quale i valori di V_a in funzione della frequenza sono espressi in db sopra $1 \mu V$.

TABELLA II

Frequenze in KHz	V_a
160 - 240	38
350 - 550	40
750 - 1000 - 1400	33

Lo spettro di frequenza di queste perturbazioni sembra dunque situato nella gamma delle onde lunghe e nella gamma intermedia e tende a diminuire velocemente verso le onde corte.

L'attenuazione di tutti questi disturbi può essere ottenuta, oltre che tenendo presenti le con-

siderazioni svolte in precedenza, relative alla messa a terra del ricevitore e anche al valore convenientemente piccolo da assegnare alla Capacità C_1 , utilizzando, specie quando la fonte del disturbo non sia accessibile, filtri passa lasso sulla rete di alimentazione del tipo di quelli usati anche nelle ricezioni televisive (11). B

6. - Le considerazioni sino qui svolte sono state in parte tenute presenti e sperimentate nel servizio di ricezione di segnali orari dell'Osservatorio di Brera, contribuendo a migliorare la tecnica e la qualità dei confronti e delle misurazioni.

La sensibilità e la selettività di un ricevitore impiegato nella ricezione di segnali di tempo campione possono essere inoltre migliorate anche prendendo in considerazione nella sua giusta misura un elemento che qualche volta, anche per ragioni logistiche, non è utilizzato convenientemente, vale a dire la direttività. Lo studio di antenne adatte e convenientemente orientabili, permette quasi sempre di migliorare sensibilmente la qualità delle ricezioni aumentando il valore del fattore n.

Riteniamo utile ricordare che le ricerche relative all'origine e allo studio dei vari disturbi, soprattutto di origine atmosferica, che sono quelli meno conosciuti, hanno avuto in questi ultimissimi anni un notevole sviluppo. Per questo motivo alla XX Assemblea Generale dell'U.R.S.I., nell'autunno del 1957, tra le numerose risoluzioni, la Commissione IV dei radorumori di origine terrestre (12), ha raccomandato una più intensa collaborazione tra l'U.R.S.I. e l'I.A.U., nel senso di coordinare e organizzare l'attività di quegli Osservatori Astronomici che si occupano di problemi legati ai fenomeni di propagazione, assicurando un più omogeneo indirizzo di ricerche e di misurazioni con vantaggio per le applicazioni astronomiche e radio-tecniche.

L'Osservatorio di Brera ha già svolto in passato ed ha in programma interessanti ricerche in questo campo, con particolare riferimento ai problemi inerenti alla propagazione dei segnali e dei rumori. E' auspicabile che queste ricerche possano essere continuate e potenziate anche in collaborazione con altri Istituti.

Bibliografia

- (1) Mesnage P., Bouchard J., *J. de Phys. et le Radium*, 6 (17), III A, 1956.
- (2) Friis T.H., *Proc. I.R.E.*, 32, 419, 1944.
- (3) Nyquist H., *Phys. Rev.* 32, 110, 1928.
- (4) Johnson J.B., *Ann. Phys.*, 67, 154, 1922.
- (5) Piatti L., *Alta Frequenza*, XIII (2), 67, 1944.
- (6) Knol K.S., *Revue Technique Philips*, 4 (20), 88, 1958/59.
- (7) Borsarelli C., *Informazioni Tecniche Fivre*, 16, 107, 1958.
- (8) Chandrasekhar Aiyar S.V., *Proc. I.R.E.* 46 (8), 1502, 1958.
- (9) Blok L., *Revue Technique Philips*, 3 (8), 241, 1938.
- (10) Boort H.J.J., Klerk M., Kruithof A.A., *Revue Technique Philips*, 5 (20), 143, 1958/59.
- (11) Perucca E., Zanobetti D., *La Ric. Scient.* 19, 1954.
- (12) Dinger H.E., *Proc. I.R.E.*, 46 (7), 1366, 1958.