

RACCOLTA DI DATI IONOSFERICI DEDOTTI DA PROVE DIRETTE DI COLLEGAMENTI R.T. EFFETTUATI SULLA RETE DELL'ESERCITO

STELIO SILLENI

PARTE II

1. *Generalità.* — Dall'agosto 1948 al settembre 1949 sono stati raccolti i dati di esercizio di una rete R.T. che utilizza generalmente la propagazione ionosferica; questi dati sono stati confrontati con quelli dei sondaggi ionosferici sistematici effettuati presso l'Istituto Nazionale di Geofisica, in Roma.

Nella parte I di questo studio ⁽¹⁾ si è riferito sul metodo adottato per l'elaborazione e sui risultati ottenuti in alcuni mesi di sperimentazione. Si danno ora gli ulteriori risultati e le conclusioni finali. Per la descrizione particolareggiata del metodo e per molti chiarimenti e considerazioni si rinvia alla Parte I suddetta.

Alcune notazioni sono state modificate per uniformarsi con quelle ormai adottate in sede internazionale (C.C.I.R.) ⁽²⁾. Esse sono:

- MUF = frequenza massima usabile, già indicata con MFU;
- FOT = frequenza ottima di lavoro (convenzionale) già indicata con FOL.

2. *Dati e loro elaborazione.* — L'elaborazione dei dati è stata fatta secondo il metodo macrostatistico descritto nella parte I (n. 5).

Si è anche provato ad applicare un metodo basato sui minimi quadrati. Per ciascun mese sono stati riportati i punti (f/MUF : probabilità) su un piano ad una coordinata trasformata per anamorfosi come quello di fig. 4, tale che qualora la distribuzione fosse gaussiana, si avrebbe una retta. Su tale piano sono state dedotte le coordinate di una retta che segue l'andamento dei punti rendendo minimo l'errore quadratico medio. Per confrontare i due metodi si è calcolato per ciascuno di essi il coefficiente di correlazione dei risultati ot-

(1) Annali di Geofisica, vol. II, n. 3, pagg. 388-399 (luglio 1949).

(2) Comité Consultatif International des Radiocommunications.

TABELLA I

	Valore mediante C		Ampiezza						Simmetria				
	Cfr. testo	a	X_{50}	X_{30}	$\frac{b}{c}$	$c, 0,41$	Striscia media	Striscia relativa	X_{50}	$\frac{h}{i}$	X_{50}	X_{30}	$\frac{m}{n}$
			b	e	d	e	$\frac{b+e}{2}$	$\frac{f}{a}$	h	i	m	n	o
Agosto 1948													
T. Roma	1.114		0.302	0.490	0.617	0.201	0.251	0.225	—	—	0.336	0.248	1.35
R. Roma	1.075		0.260	0.475	0.547	0.194	0.227	0.212	—	—	0.172	0.120	1.43
Settembre 1948													
T. Roma	1.175		0.228	0.570	0.400	0.234	0.231	0.198	0.312	1.22	0.096	0.128	0.75
R. Roma	1.125		0.203	0.605	0.344	0.218	0.228	0.203	0.336	1.35	0.096	0.112	0.86
Ottobre 1948													
T. Roma	1.140		0.164	0.605	0.263	0.248	0.206	0.181	0.440	2.68	0.132	0.036	3.67
R. Roma	1.104		0.208	0.660	0.315	0.271	0.239	0.217	0.465	2.37	0.140	0.068	2.06
Novembre 1948													
T. Roma	1.16		0.400	0.600	0.667	0.246	0.323	0.278	0.340	1.31	0.268	0.132	2.03
R. Roma	1.09		0.324	0.568	0.570	0.233	0.278	0.255	0.192	0.372	0.108	0.216	0.50
Dicembre 1948													
T. Roma	0.958		0.228	0.464	0.492	0.190	0.209	0.218	0.200	0.758	0.112	0.116	0.966
R. Roma	0.91		0.172	0.384	0.448	0.157	0.165	0.182	0.140	0.574	0.076	0.096	0.792
Gennaio 1949													
T. Roma	1.01		0.257	0.592	0.443	0.243	0.250	0.248	—	—	0.132	0.140	0.943
R. Roma	1.02		0.260	0.525	0.495	0.217	0.239	0.235	0.276	1.11	0.148	0.112	1.32
Febbraio 1949													
T. Roma	1.22		0.368	0.764	0.468	0.313	0.340	0.278	0.564	3.65	1.192	0.072	2.67
R. Roma	1.11		0.416	0.796	0.523	0.326	0.371	0.335	0.553	2.26	0.417	0.80	5.20

segue TABELLA I.

	Valore mediano C		Ampiezza						Simmetria					
	Cfr. testo	a	$X_{3000}M_30$	$X_{3000}E_30$	$\frac{b}{c}$	c, 0,41	Striscia media	Striscia relativa	$X_{3000}M_{30}$	$X_{3000}E_30$	$\frac{h}{i}$	$X_{3000}M_{30}$	$X_{3000}E_{30}$	$\frac{m}{n}$
			b	c	d	e	$\frac{b+e}{2}$	$\frac{f}{a}$	h	i	l	m	n	o
Marzo 1949														
T. Roma	1.25	0.140	1.068	0.131	0.438	0.289	0.231	—	—	—	—	0.046	0.094	0.490
R. Roma	1.23	0.172	0.993	0.173	0.407	0.289	0.233	—	—	—	—	0.052	0.120	0.434
Aprile 1949														
T. Roma	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
R. Roma	1.22	0.240	0.878	0.273	0.360	0.300	0.246	—	—	—	—	—	—	—
Maggio 1949														
T. Roma	1.228	0.304	0.616	0.493	0.253	0.278	0.227	—	—	—	—	—	—	—
R. Roma	1.215	0.368	0.600	0.613	0.246	0.307	0.252	—	—	—	—	—	—	—
Giugno 1949														
T. Roma	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
R. Roma	1.205	0.312	0.536	0.582	0.220	0.266	0.221	—	—	—	—	—	—	—
Luglio 1949														
T. Roma	1.09	0.196	0.360	0.545	0.148	0.172	0.158	—	—	—	—	0.118	0.088	1.23
R. Roma	1.08	0.196	0.340	0.576	0.139	0.168	0.155	0.132	0.208	0.635	0.112	0.084	1.33	
Agosto 1949														
T. Roma	1.06	0.148	0.378	0.392	0.155	0.157	0.144	0.132	0.249	0.567	0.080	0.064	1.25	
R. Roma	1.015	0.172	0.420	0.410	0.172	0.172	0.169	0.108	0.292	0.370	0.048	0.124	0.388	

tenuti per la trasmissione e la ricezione, in ciascun mese. I coefficienti di correlazione sono:

	Macrostatistico (su 13 mesi)	Minimi quadrati (su 7 mesi)
Per il valore mediano C	+ 0,71	+ 0,66
Per l'ampiezza relativa della striscia del 50%	+ 0,86	+ 0,85

Non si nota una netta superiorità di un metodo sull'altro. Se si tiene conto però che il metodo basato sui minimi quadrati è più laborioso e dà maggiore peso ai dati estremi, che in realtà non sono i più significativi, la bilancia si sposta a favore del metodo macrostatistico, la cui efficienza è più che sufficiente se si considera il grande numero di dati elaborati.

3. *Effetto della variazione di potenza.* — Nei due versi (trasmissione da Roma - ricezione da Roma) e per le frequenze più basse sono

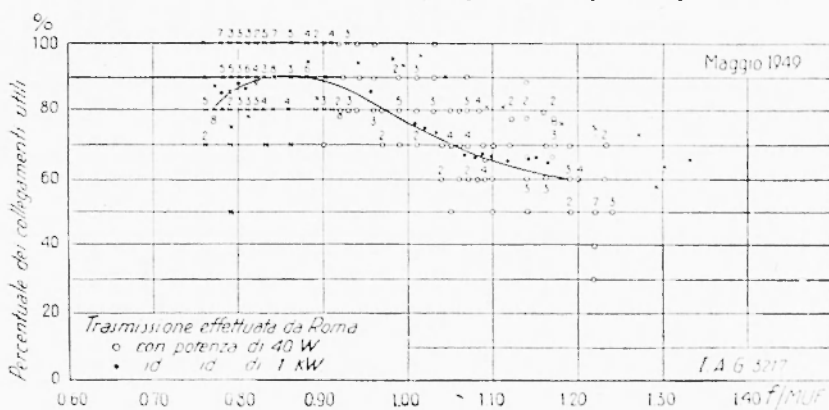


Fig. 1 - Percentuale dei collegamenti utili in trasmissione da Roma - maggio 1949. Si osserva una frequenza ottima uguale a circa 0,87 MUF.

state impiegate rispettivamente potenze di 1 kW e di 40 W. Lo scarto dal 100% della percentuale massima dei collegamenti utili è stato sempre maggiore per il verso che impiega la potenza minore (cfr. tabella II). In media, la variazione della potenza da 40 W a 1 kW porta questo scarto, in corrispondenza della frequenza ottima, dal 2,6 al 9,9%; cioè la probabilità che un collegamento non possa venire utilizzato, anche se progettato per la frequenza ottima, è circa 4 volte maggiore se si impiegano 40 W invece di 1 kW.

Per frequenze più basse di quella ottima l'influenza della potenza dovrebbe essere maggiore. Per frequenze più alte essa è trascurabile, entro certi limiti, rispetto alla influenza della variazione di frequenza. I diagrammi delle fig. 1 e 2 tracciati per il mese di maggio 1949, danno una indicazione abbastanza evidente di questo andamento. Su di essi infatti si nota:

- lo scarto dal 100% è più basso quando la potenza è più alta;
- la frequenza ottima è più bassa quando la potenza è più alta;
- per frequenze decrescenti a partire da quella ottima la differenza delle probabilità tende ad aumentare;

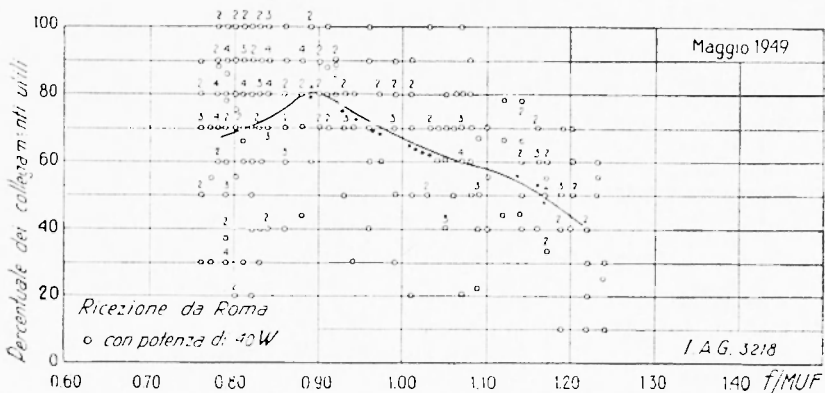


Fig. 2 - Percentuale dei collegamenti utili in ricezione da Roma - maggio 1949. Si osserva una frequenza ottima uguale a circa 0,89 MUF.

— per frequenze crescenti a partire da quella ottima la differenza delle probabilità si mantiene approssimativamente costante, e quindi acquista importanza sempre minore relativamente alla probabilità di collegamento non utilizzabile dovuto alla variazione di frequenza.

4. *Effetto della variazione di frequenza.* — I valori medi della striscia del 50% calcolati su tutto l'anno risultano poco diversi da quelli calcolati nella parte I. La media annua risulta uguale a 0,22 della MUF, con fluttuazioni abbastanza forti.

La correlazione fra l'ampiezza degli scarti dedotti dai collegamenti e quelli dei sondaggi (tabella IV) è positiva ma molto piccola.

Ciò indica che la fluttuazione delle frequenze critiche (sondaggi) è soltanto una componente di quella dei collegamenti. Il diagram-

TABELLA II

		Valore mediano C		Striscia ridotta		Scarto del massimo dal 100%	
		a	media mensile	c	media mensile	e	media mensile
			b		d		f
Agosto	1948						
T. Roma		1.114	1.094	0.225	0.218	7	9
R. Roma		1.075		0.212		11	
Settembre	1948						
T. Roma		1.175	1.150	0.198	0.200	1	2
R. Roma		1.125		0.203		3	
Ottobre	1948						
T. Roma		1.110	1.122	0.181	0.199	0	1
R. Roma		1.104		0.217		2	
Novembre	1948						
T. Roma		1.16	1.125	0.278	0.266	3	4,5
R. Roma		1.09		0.255		6	
Dicembre	1948						
T. Roma		0.958	0.934	0.218	0.200	3	4
R. Roma		0.91		0.182		5	
Gennaio	1949						
T. Roma		1.01	1.015	0.248	0.242	2	5,5
R. Roma		1.02		0.235		9	
Febbraio	1949						
T. Roma		1.22	1.165	0.278	0.306	3	5,5
R. Roma		1.11		0.335		8	
Marzo	1949						
T. Roma		1.25	1.240	0.231	0.232	3	9
R. Roma		1.23		0.233		15	
Aprile	1949						
T. Roma		—	1.220	—	0.246	0	5,5
R. Roma		1.22		0.246		11	
Maggio	1949						
T. Roma		1.228	1.222	0.227	0.240	8	13
R. Roma		1.215		0.252		18	
Giugno	1949						
T. Roma		—	1.205	—	0.221	2	10,5
R. Roma		1.205		0.221		15	
Luglio	1949						
T. Roma		1.09	1.085	0.158	0.156	2	7
R. Roma		1.08		0.155		12	
Agosto	1949						
T. Roma		1.06	1.038	0.144	0.156	2	6
R. Roma		1.015		0.169		10	
Medie (ottenute assegnando peso 0.5 ai valori dei due mesi di agosto)							
T. Roma		—	1.148	—	0.224	2,6	6,2
R. Roma		—		—		9,9	

TABELLA III

M e s e	Valore mediano ottenuto con la sonda	Valore mediano dedotto dei col- legamenti	Scarto
Agosto 1948	—	1 094	—
Settembre 1948	1.28	1.150	- 0 13
Ottobre 1948	1 14	1 122	— 0 02
Novembre 1948	1.18	1 125	- 0 06
Dicembre 1948	1.01	0.934	- 0 08
Gennaio 1949	0.88	1 015	÷ 0 14
Febbraio 1949	1 47	1 165	- 0 30
Marzo 1949	1.16	1 240	÷ 0 06
Aprile 1949	1 24	1 220	- 0 02
Maggio 1949	1.14	1 222	÷ 0 06
Giugno 1949	1.13	1 205	÷ 0 08
Luglio 1949	1 11	1 085	- 0 02
Agosto 1949	1 03	1.038	÷ 0.01
Media	1 148	1.127	

Correlazione ± 0.60

TABELLA IV

M e s e	Striscia del 50% ottenuta con la sonda	Striscia del 50% dedotta dai col- legamenti	Fattore di
Agosto 1948	0.183	0.218	1.19
Settembre 1948	0 171	0 200	1.17
Ottobre 1948	0 167	0 199	1 19
Novembre 1948	0 2 2	0.266	1.25
Dicembre 1948	0.153	0 200	1.31
Gennaio 1949	0.128	0 242	1.89
Febbraio 1949	0.159	0.306	1.93
Marzo 1949	0 145	0 232	1.60
Aprile 1949	0 134	0.246	1.84
Maggio 1949	0.095	0 240	2.53
Giugno 1949	0.127	0 221	1 74
Luglio 1949	0 134	0.156	1.16
Agosto 1949	0.147	0.156	1 06
Medie (ottenute asse- gnando peso 0,5 ai valori dei due mesi di agosto)	0 149	0 225	1 5

Correlazione $\pm 0,1$

ma della fig. 3 mostra una interessante particolarità di questa relazione: per la prima metà dell'anno il rapporto tra le due fluttuazioni è molto maggiore che per la seconda metà dell'anno. Le indagini finora fatte non hanno indicato nessuna causa fisica di un tale comportamento. Non è escluso che tale causa possa trovarsi in altri campi,

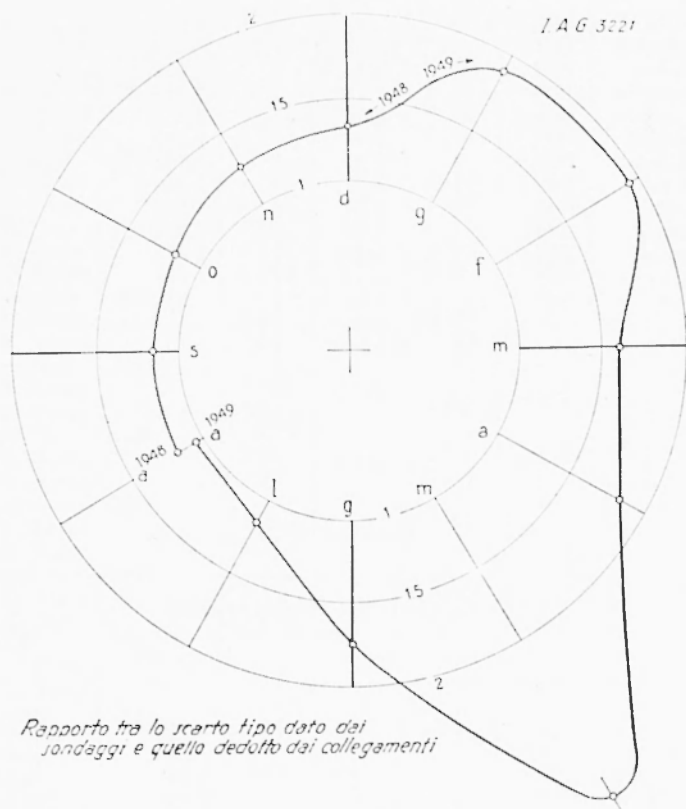


Fig. 3 - Rappresentazione grafica del rapporto tra scarto ottenuto dalla rete R. T. e scarto ottenuto con i sondaggi. Il rapporto è quello che figura nella tab. IV.

p. e. possa venire attribuita all'addestramento del personale impiegato sulla rete R.T.

Il valore mediano C, dedotto con le avvertenze indicate nella parte I, è risultato generalmente maggiore di 1 ed in media è stato di 1,148. Durante lo stesso intervallo di tempo anche i valori misurati con la ionosonda sono stati generalmente maggiori di quelli delle pre-

visioni CRPL-D. La correlazione dei valori mensili (tabella III) di questi coefficienti è 0,6, cioè molto alta se si osserva che la correlazione degli stessi coefficienti fatta solo per la rete R.T., tra dati di ricezione e di trasmissione, è di 0,71. È interessante notare che durante questo tempo l'attività solare è stata anch'essa generalmente più elevata di quella prevista nelle pubblicazioni citate; in media il rapporto tra media mobile dei numeri di Wolf osservati da Zurigo fatta su 12 mesi e numero di Wolf previsto ed adottato dalle pubblicazioni CRPL-D è stato di 1,24.

La distribuzione delle percentuali dei collegamenti utili si è presentata generalmente asimmetrica (tabella I). Crescendo la frequenza al di sopra della MUF le percentuali cadono più rapidamente di quanto esse non crescano diminuendo la frequenza al di sotto della MUF. Questo andamento è analogo a quello che si osserva nei sondaggi, nei quali in presenza di forti perturbazioni ionosferiche si hanno valori della frequenza critica molto più bassi di quelli mediani, mentre invece è eccezionale osservare valori molto più alti.

Per osservare meglio questo particolare, e tenerne conto, si è tracciata la curva a tratto e punto della fig. 4, in cui l'asse verticale è graduato secondo l'integrale della funzione degli errori. I punti ripor-

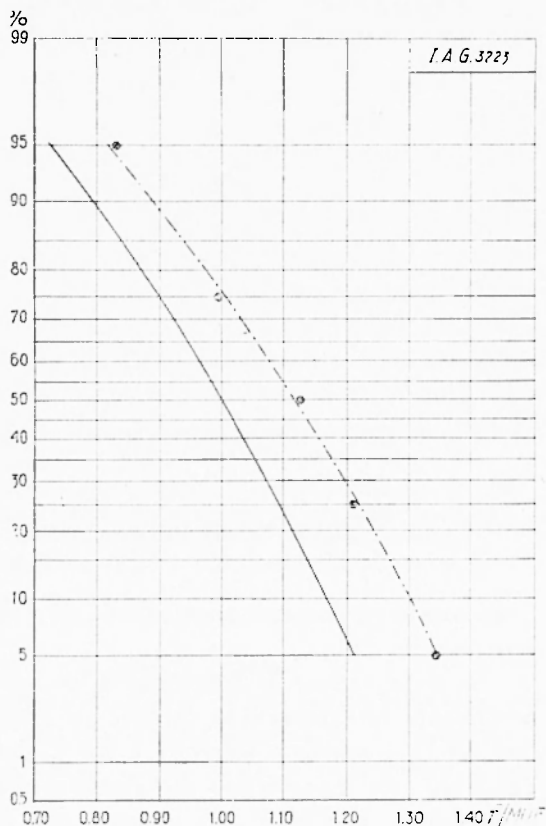


Fig. 4 - I valori medi di f/MUF corrispondenti alle probabilità del 5, 25, 50, 75 e 95%, riportati su carta di probabilità, indicano una distribuzione non gaussiana. La curva a tratto pieno è affine alla precedente, ma passa per il punto (1;50%).

tati sono quelli che hanno come ascissa le medie dei valori mensili f/MUF corrispondenti alla stessa percentuale. Se la distribuzione fosse gaussiana si dovrebbe avere una retta, mentre invece si ottiene una curva con la concavità in basso. La curva a tratto pieno è ottenuta da quella a tratto e punto per affinità, rispetto all'asse verticale, con un coefficiente tale da portare la probabilità del 50% in corrispondenza di $f/MUF = 1$.

La stessa legge è rappresentata nel diagramma 5 in cui le coordinate sono lineari. La curva tratteggiata di questo diagramma rappre-

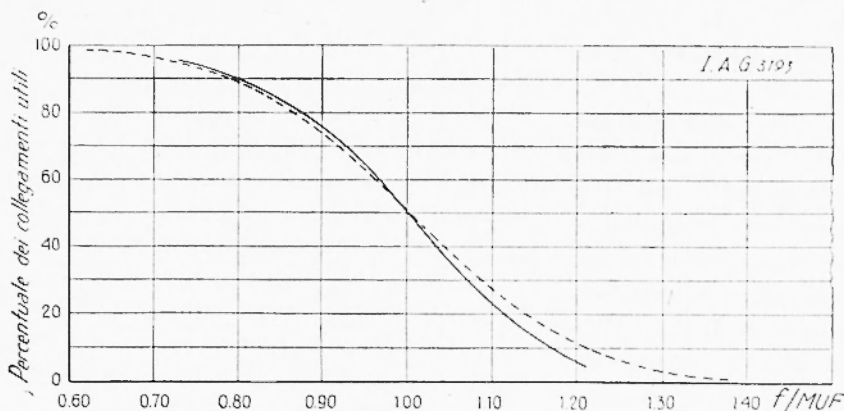


Fig. 5 - Distribuzione media ricavata dalle esperienze. La curva a tratto pieno è la stessa della fig. 4. Quella tratteggiata corrisponde ad una distribuzione gaussiana di scarto medio uguale a quella ottenuta dalle esperienze.

senta una distribuzione gaussiana di ampiezza uguale a quella media (cfr. tabella IV).

Se si fa variare la frequenza al di sotto della MUF si trova generalmente una frequenza ottima. La frequenza ottima non supera mai $0,9 C$, e spesso è inferiore a $0,8 C$. Secondo la distribuzione di fig. 5 che non tiene conto dell'assorbimento, in media il coefficiente da applicare alla MUF per ottenere una frequenza che dia il 95% di collegamenti utili è $0,73$, invece del $0,85$ usato per calcolare la FOT.

5. *Attendibilità dei risultati.* — 5.1. — Complessivamente sono state considerate oltre 60.000 ricezioni effettuate generalmente ad intervalli di 1 ora, da 12 stazioni radio e da un numero almeno triplo di marconisti. I dati ottenuti rappresentano perciò abbastanza fedelmente il comportamento medio di una rete R.T. delle caratteristiche di quella studiata, cioè:

- funzionamento in radiotelegrafia a trasmissione manuale e ricezione in cuffia;
- impianto di tipo quasi-campale;
- distanze comprese tra 200 e 600 km, nella zona temperata.

5.2. — È però utile elencare esplicitamente le ipotesi assunte a base del lavoro:

5.2.1. — Come legge di variazione della MUF nella giornata e nell'anno si è assunta quella data dal CRPL. Alla luce di successive ricerche tale legge risulta valida solo in prima approssimazione.

5.2.2. — Alla base del metodo sta l'ipotesi che le fluttuazioni della MUF da un giorno all'altro nel mese sieno proporzionali alla MUF mediana di ciascuna ora. Questo in realtà non avviene. I dati medi ottenuti sono però ancora validi, con qualche limitazione.

5.2.3. — Si è ammesso che la ionizzazione sia uguale in tutti i punti di riflessione considerati. In realtà le differenze delle frequenze critiche superano solo raramente il 4%, ma in pochi minuti dopo l'alba, nel mese di dicembre, si ha una differenza massima maggiore del 20%.

6. *Conclusioni.* — È possibile trarre ora le seguenti conclusioni, valide per condizioni analoghe a quelle di sperimentazione, e di cui alcune sono state anticipate nella parte I.

6.1. — La probabilità di un ascolto riuscito ($QSA > 0$) senza che il collegamento sia utilizzabile ($QSA > 2$) è molto alta, specialmente alle frequenze più alte. Ne risulta necessaria la norma prudentiale di collaudare qualunque collegamento con la effettiva trasmissione di messaggi.

6.2. — Quando la frequenza aumenta variando intorno alla MUF la percentuale dei collegamenti utili diminuisce, con una distribuzione che differisce poco da quella aleatoria normale, ed è data dal diagr. 5.

La distribuzione delle percentuali dei singoli collegamenti è molto sparsa: perciò non si può fare alcun affidamento su esperienze singole, ma è sempre necessario prolungare queste per più giorni e possibilmente su più stazioni.

6.3. — Generalmente esiste una frequenza ottima, che è sempre minore della MUF (per le condizioni di sperimentazione essa è minore di $0,85 MUF_c$). In corrispondenza della frequenza ottima una variazione di potenza da 40 a 1000 watt riduce nel rapporto 4 a 1 la probabilità di collegamenti non utilizzabili (da 9,9 a 2,6%).

6.4. — A prescindere da questa probabilità di collegamenti non utilizzabili dovuta a deficienza di potenza, la frequenza mediana va ridotta secondo un coefficiente 0,73 per avere la frequenza che dà una probabilità del 95%. Adottando il coefficiente di riduzione 0,85, che è quello raccomandato dal CRPL per ottenere la FOT, la probabilità è dell'85% soltanto.

Resta infine confermata la necessità di trarre gli elementi per il progetto dei collegamenti radio da misure che possano distinguere i singoli fattori, in quanto i dati ottenuti dall'esercizio richiedono grande dispendio di lavoro e molto tempo per la loro interpretazione, e anche l'esame di un gran numero di dati lascia forti incertezze. Ciò può essere giustificato quando non si disponga di ionosonde o quando, come nel presente studio, si voglia procedere a confronti. È anche necessario il confronto tra misure e dati di esercizio nello studio di problemi nuovi, come quello della predeterminazione della sicurezza o grado di affidamento (« reliability ») dei collegamenti radio, recentemente impostato dalla Commissione 6^a del C.C.I.R.

Roma — Istituto Nazionale di Geofisica.

Ispettorato dell'Arma del Genio — Luglio 1950.

BIBLIOGRAFIA

- J. B. SCARBOROUGH: *Numerical Mathematical Analysis*. Oxford 1930.
 G. CASTELNUOVO: *Calcolo delle probabilità*. Vol. I. Zanichelli, Bologna 1917.
 National Bureau of Standards, Circ. 465. Washington 1917.
 R. A. FISHER: *Metodi Statistici*. UTET, Torino 1948.
 National Bureau of Standards, Circ. 462: *Ionospheric Radio Propagation*.
 Washington 1918.
 National Bureau of Standards, *Basic Radio Propagation Predictions (D series)*.
 Mensile.
 A. BOLLE, S. SILLENTI e C. A. TIBERIO: *Registrazioni ionosferiche*. Annali di
 Geofisica, Vol. II, n. 3, pagg. 377-387 (luglio 1919).