

REALE ACCADEMIA D'ITALIA

SCRITTI

DI

GUGLIELMO MARCONI



ROMA

REALE ACCADEMIA D'ITALIA

1941-XIX

RADIOCOMUNICAZIONI A ONDE CORTISSIME (*)

(*) Conferenza tenuta alla Royal Institution of Great Britain il 2 dicembre 1932.

Durante gli ultimi dodici mesi l'attenzione di una notevole parte del mondo scientifico e del pubblico è stata rivolta ai resoconti pubblicati - con vario grado di precisione - sulle mie recenti ricerche relative all'uso ed al comportamento delle onde elettriche ultra corte nelle radio-comunicazioni a distanze relativamente grandi.

Scopo di questa mia conferenza è di dare delle notizie esatte sui risultati ottenuti e sulle osservazioni fatte da me e dai miei assistenti e di descrivere gli apparecchi adoperati ed i metodi impiegati nelle mie ricerche. Lo studio di quelle che possono essere chiamate onde cortissime, data sin dalla scoperta delle onde elettriche stesse e cioè dal tempo delle classiche esperienze di Hertz e dei suoi contemporanei, circa quarantadue anni or sono.

In molti dei suoi primi esperimenti Hertz usò onde elettriche cortissime e provò in modo conclusivo che tali onde seguivano le stesse leggi che regolano la velocità, la propagazione, la riflessione, la rifrazione e la diffrazione della luce.

Il problema dell'impiego delle onde cortissime per le radiocomunicazioni non è nuovo per me, poichè ho dedicato ad esso molto lavoro fin dal tempo dei miei primi esperimenti 38 anni or sono.

Nel 1896 dimostravo ai tecnici dell'Amministrazione inglese delle Poste e Telegrafi che le onde dell'ordine di cm. 30 di lunghezza, corrispondenti ad una frequenza di circa un milione di Kilocicli, ed ora chiamate spesso micro-onde, potevano essere adoperate con successo per le comunicazioni telegrafiche alla distanza di circa 3 chilometri impiegando dei riflettori adatti allo scopo.

Più tardi tale distanza fu aumentata sino ad oltre 4 chilometri. Questi primi risultati furono descritti da Sir William Preece, Ingegnere Capo dell'Amministrazione inglese delle Poste e Telegrafi, in una riunione della Società inglese per il Progresso delle Scienze nel settembre 1896 ed in successive conferenze. Essi inoltre furono esposti, con maggiori dettagli, in una conferenza da me tenuta alla Institution of Electrical Engineers di Londra il 3 marzo 1899.

Durante detta conferenza dimostrai come fosse possibile, mediante onde cortissime, di concentrare le radiotrasmissioni a mezzo di riflettori verso una data direzione, invece di permettere alle onde di propagarsi circolarmente in tutte le direzioni.

A quel tempo tuttavia l'uso di queste onde cortissime non sembrava molto promettente e per molti anni le mie ricerche - come quelle degli studiosi contemporanei - furono dirette all'uso di onde progressivamente più lunghe che raggiunsero i 10.000 metri.

Nel 1916 necessità belliche esigevano metodi di radiocomunicazioni più segrete di quelle che erano state fino allora in uso; rinacque così il mio interessamento alle proprietà direttive delle onde cortissime, e tornai a dedicare i miei studi e le mie ricerche alla generazione ed alla ricezione di tali onde.

Queste mie ricerche furono intraprese in Italia, nelle vicinanze di Livorno; in esse ebbi come valido collaboratore l'ing. C. S. Franklin della Compagnia Marconi di Londra.

A quel tempo, usando speciali trasmettitori a scintilla e una lunghezza d'onda di 2 metri, fu possibile ottenere sicure comunicazioni ad oltre 9 chilometri di distanza; successive prove con la stessa lunghezza d'onda, eseguite in Inghilterra, dimostrarono la possibilità di ricevere chiaramente segnali ad una distanza di oltre 32 chilometri e fecero anche intravedere che con i medesimi apparecchi sarebbe stato possibile conseguire una maggiore portata.

I notevoli risultati che ottenni durante il periodo dal 1919 al 1924 con l'uso di lunghezze d'onda comprese fra i 100 e i 6 metri portarono alla abolizione delle onde lunghe nelle radiocomunicazioni dell' Impero britannico ed all'impiego di trasmettitori ad alta velocità ad onde corte del mio sistema a fascio. Tale nuovo sistema rivoluzionò i servizi radiotelegrafici e telefonici a grande distanza e distrasse la mia attenzione dallo studio delle micro-onde (1).

Le onde elettro-magnetiche di lunghezza inferiore ad un metro sono comunemente conosciute sotto il nome di onde quasi-ottiche, poichè era generalmente ammesso che con esse la comunicazione era possibile solo quando le due estremità del circuito radio erano entro la visuale diretta; e che, conseguentemente, la loro utilità pratica era limitata da tale condizione.

La mia lunga esperienza mi ha tuttavia insegnato a non credere sempre a limitazioni fondate su considerazioni puramente teoriche o perfino su calcoli, poichè essi, come sappiamo, sono spesso basati su cognizioni imperfette di tutti i fattori più importanti; io ho invece sempre ritenuto opportuno seguire nuove linee di ricerca anche quando queste sembravano a prima vista poco promettenti di buoni risultati.

Circa 18 mesi or sono decisi di riprendere lo studio sistematico delle proprietà e delle caratteristiche delle onde cortissime in vista dei positivi vantaggi che esse sembravano offrire - cioè possibilità di usare radiatori, ricevitori e riflettori di piccole dimensioni per irradiare e ricevere notevoli quantità di energia - ed in vista anche del fatto che tali onde non soffrono interferenze causate da disturbi elettrici naturali come quelli prodotti dalle scariche atmosferiche.

Era conseguentemente ovvio per me che tali ricerche sarebbero state facilitate se fosse stato possibile utilizzare efficientemente potenze considerevolmente superiori nei trasmettitori ed impiegare ricevitori più pratici e sicuri che non fossero stati fino ad allora disponibili.

Queste esperienze vennero eseguite in Italia, ove ricevetti dal Regio Governo ogni possibile assistenza ed incoraggiamento. In esse fui validamente assistito dall'ing. Mathieu e dal sig. Isted della Compagnia Marconi. Gli apparecchi e le valvole per queste mie esperienze sono stati costruiti presso i miei Laboratori di Genova.

* * *

Al principio del nostro lavoro, una scelta doveva essere fatta fra due diversi metodi da seguire per attaccare il problema, e cioè fra quello basato sull'uso del Magnetron e quello basato sull'uso dell'Oscillatore elettronico.

Poichè lo scopo principale era l'ottenere un trasmettitore capace di irradiare una potenza notevole, il metodo del Magnetron mi tentava; ma la necessità di impiegare tensioni alquanto elevate, quella di produrre un campo ausiliario, e alcuni dubbi sorti circa la possibilità di ottenere una buona modulazione, ci fecero preferire l'uso di un circuito basato sull'effetto Barkhausen-Kurz.

Non meno importante era la scelta della lunghezza d'onda da impiegarsi. Poichè sembrava improbabile che vi sarebbe stata grande differenza nelle caratteristiche di propagazione delle onde comprese tra gli cm. 80 e i 20, decidemmo di concentrare anzitutto i nostri sforzi sulla possibilità di generare e di irradiare in modo

efficiente quella che può essere chiamata un'onda media nella gamma delle micro-onde, cioè una lunghezza d'onda dell'ordine di mezzo metro (600.000 Kc.).

Il primo circuito sperimentato fu quello del tipo Barkhausen e Gill Morell con fili di Lecher sulla placca e sulla griglia, circuito che era stato usato in quasi tutti i recenti esperimenti. In tale circuito provammo - con vario successo - tutte le nuove e le vecchie valvole riceventi e amplificatrici con placca cilindrica; ma non appena esse venivano sovraccaricate per ottenere potenza, la loro vita si riduceva a qualche minuto.

I nostri sforzi, quindi, furono diretti verso la produzione di valvole più adatte; e dopo un certo tempo si riuscì a costruire una valvola con filamento di tungsteno da 4 ampere e con griglia di molibdeno fissata con saldatura elettrica su sostegni di molibdeno. Tale valvola assicurò un grande miglioramento nei riguardi della potenza ottenibile e della vita della valvola stessa.

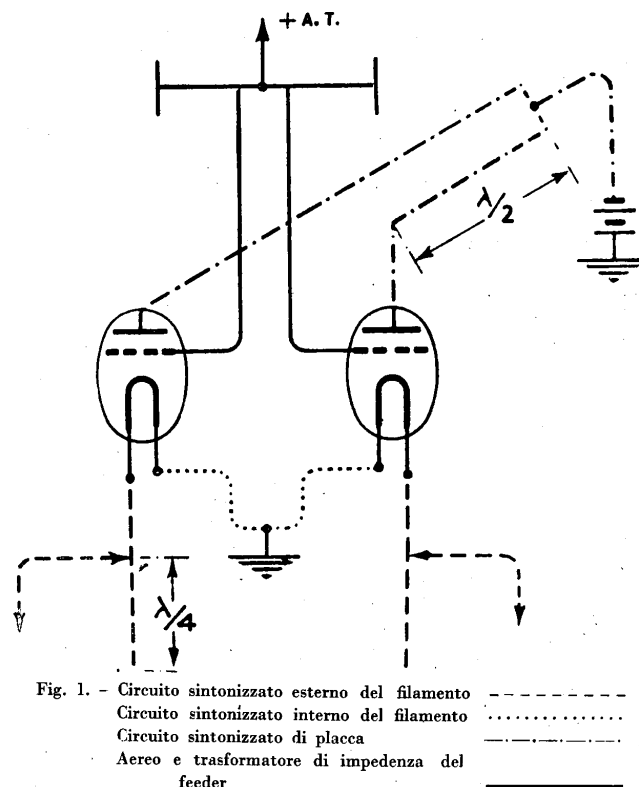


Fig. 1. - Circuito sintonizzato esterno del filamento
 Circuito sintonizzato interno del filamento
 Circuito sintonizzato di placca
 Aereo e trasformatore di impedenza del feeder

Tuttavia si manifestò presto l'insufficienza del circuito placca griglia di Lecher; fu allora escogitato un nuovo circuito simmetrico a due valvole che fu poi provato con due valvole speciali simmetriche fra loro, l'una di esse essendo la riproduzione dell'immagine dell'altra riflessa in uno specchio. Il perfezionamento di tale nuovo circuito ha portato successivamente al circuito trasmittente che fu poi adoperato ed è riprodotto nella figura 1.

Questo nuovo oscillatore elettronico è caratterizzato da 3 veri e propri circuiti sintonizzati, e cioè un circuito sintonizzabile di filamento interno, uno simile esterno ed uno di placca; nonchè dall'uso di un trasformatore di impedenza dell'alimentatore (*feeder*), che ha lo scopo di equilibrare la resistenza interna delle valvole con quella di un efficiente aereo a dipolo.

L'aereo a dipolo porta all'estremità due piccoli dischi che funzionano come capacità terminali. La nostra esperienza ha in modo definitivo suggerito che il loro uso assicura una maggiore potenza irradiata e rende più facile la regolazione del trasformatore di impedenza del feeder.

L'accordo del circuito di placca e l'accordo di quello interno di filamento sono i più importanti, poichè essi sono i fattori di controllo della lunghezza d'onda sulla quale il trasmettitore può oscillare efficientemente; da essi dipendono tutte le altre regolazioni.

È necessario rilevare che la lunghezza di conduttore meglio adatta per connettere le due placche insieme, per assicurare l'accordo del circuito di placca, è molto piccola - solo 5 centimetri circa, per una lunghezza d'onda di circa 50 centimetri - ma i fili di Lecher sono relativamente lunghi, perchè è stato trovato desiderabile aggiungere a tale breve conduttore un altro conduttore della lunghezza di un'onda completa, ripiegato su se stesso allo scopo di evitare perdita per irradiazione.

È facile rendersi ragione dell'azione del circuito sintonizzato di placca. Esso controlla la frequenza delle oscillazioni in maniera in tutto analoga alla vibrazione meccanica di una sbarra rettilinea di acciaio fissata nel suo punto di mezzo.

Ciò è confermato dal fatto che, collegando una termocoppia nel mezzo del conduttore che stabilisce l'accordo di placca e lasciando le altre connessioni libere, le due placche ed il conduttore funzionano come un aereo a dipolo con grandi capacità terminali.

Il circuito sintonizzato interno del filamento e quello esterno potrebbero sembrare a prima vista funzionanti come degli effettivi «strozzatori» (*chokes*); ma, praticamente, ambedue sono necessari per assicurare la corretta distribuzione di potenziale lungo gli elementi del nuovo circuito e fra di essi. Nella figura 2 è mostrata la giusta distribuzione del potenziale lungo i circuiti della placca e del filamento, ottenuta per mezzo di questi circuiti sintonizzati.

È interessante notare che il circuito oscilla ancora molto bene, ma a circa metà potenza, se il filamento di una delle valvole è spento. Però il sistema non può in alcun modo oscillare se una delle due placche è disconnessa, il che conferma, ancora una volta, l'azione di controllo esercitata dal circuito sintonizzato di placca.

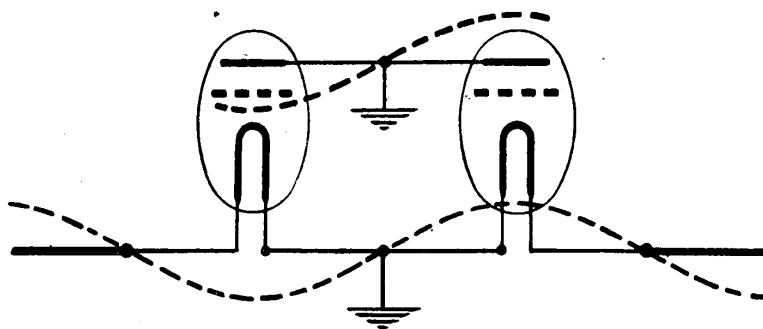


Fig. 2. - Distribuzione del potenziale lungo il circuito sintonizzato del filamento ed il circuito sintonizzato di placca.

Naturalmente, non è sufficiente sintonizzare correttamente tutte le porzioni esterne del nuovo circuito; ma è anche necessario regolare le tensioni fornite alle valvole adoperate per generare oscillazioni elettroniche fra i loro elettrodi ad una frequenza corrispondente il più possibile a quella per cui il circuito esterno è sintonizzato.

Esiste un definito effetto di trascinamento della oscillazione verso la frequenza controllata dalla regolazione del circuito; e quanto maggiormente la regolazione delle tensioni corrisponderà a quella frequenza, tanto più potente e più stabile risulterà il trasmettitore.

Il grado di accensione del filamento è un altro importante fattore da cui dipende l'efficienza del trasmettitore. Partendo con filamento spento, le oscillazioni si innescheranno non appena la saturazione della corrente di griglia è raggiunta. Da tale momento l'energia irradiata crescerà rapidamente mano a mano che si aumenta la temperatura del filamento fino a che l'energia irradiata passa attraverso un massimo ben definito; un ulteriore aumento della temperatura del filamento porterà una rapida diminuzione dell'efficienza e finalmente il disinnescamento delle oscillazioni.

Naturalmente, lo studio delle valvole ha proceduto parallelamente con quello dei circuiti. Lo spessore del filamento, il diametro e il passo della spirale di griglia, nonché la lunghezza delle placche e delle griglie, furono successivamente variati fino ad ottenere i migliori risultati.

Fu anche studiato il metodo di sospensione degli elettrodi, che è stato trovato essere un importante particolare.

L'energia irradiata da una unità del trasmettitore, è stata misurata ponendo tutto l'apparecchio, eccettuati l'aereo e l'alimentatore (*feeder*), in un calorimetro e rilevando le curve di temperatura prima con il trasmettitore in regime di oscillazione e successivamente con le oscillazioni disinnescate, mantenendo costanti tutte le correnti.

Risultati attendibili ottenuti con questo metodo indicano una potenza irradiata di circa 3,5 Watt.

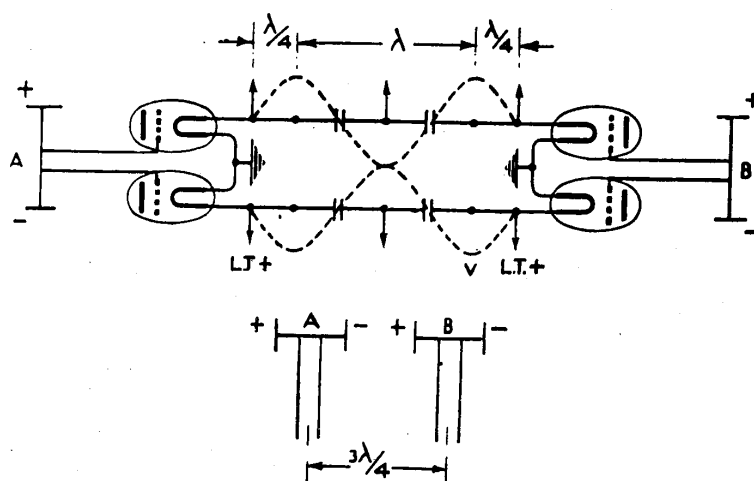


Fig. 3. - Schema dimostrativo del metodo seguito per mantenere in fase due unità trasmettenti spaziate di $3\lambda/4$.

La potenza assorbita dal filamento è di circa 30 Watt, quella assorbita dalla griglia di circa 25 Watt, e pertanto il rendimento totale risulta del 6 per cento, aumentabile sino al 14 per cento ove si tenga conto della sola potenza assorbita dalla griglia.

La possibilità di aumentare sostanzialmente la potenza irradiata dal trasmettitore fu attuata con successo adoperando varie unità trasmettenti in parallelo, con i loro aerei tutti in linea e spaziate fra loro in modo da assicurare il massimo effetto direttivo.

Tali unità trasmettenti si poterono mantenere elettricamente in fase, collegando due a due i circuiti sintonizzati esterni di filamento dei trasmettitori adiacenti, a mezzo di collegamenti di fase lunghi 1,5 volte la lunghezza d'onda.

La figura 3 mostra lo schema di tale dispositivo.

È da notarsi che dei condensatori sono posti nei punti di massima corrente allo scopo di permettere l'indipendente regolazione della corrente di accensione di filamento di ciascuna valvola: lo stesso principio si applica nel caso di quattro trasmettitori.

* * *

Vi sono vari metodi per ottenere la modulazione nel nuovo trasmettitore. I metodi principali sono quelli basati sulla sovrapposizione della modulazione su l'alta tensione positiva di corrente continua di griglia o anche sulla tensione negativa stabile di placca. Ma vi sono molti altri metodi, come quello basato sul circuito bilanciato (*push pull*) di placca o di griglia o anche quello basato sul circuito bilanciato fra due unità trasmettenti.

Tutti questi furono sperimentati e le particolari caratteristiche di ognuno di essi accertate; ma, in definitiva, fu adottata la modulazione di placca, almeno provvisoriamente, per la sua semplicità.

Nel caso di varie unità trasmettenti funzionanti in fase, tutti i circuiti di placca sono collegati in parallelo e sono quindi modulati simultaneamente.

L'impedenza placca-filamento di una unità trasmettente, alla frequenza di 1000 periodi è stata misurata ed è stata trovata pari a 2500 ohm. Su tale misura è stato basato il progetto del trasformatore di modulazione.

Durante tali ricerche il problema della misura di frequenza e della costruzione di un adatto ondometro ha dovuto naturalmente essere preso in seria considerazione.

In principio delle nostre esperienze, quando era usato il circuito fra placca e griglia con fili di Lecher, era stato trovato assai soddisfacente l'accoppiamento al trasmettitore di un ondometro a fili di Lecher. Le misure erano eseguite osservando l'effetto di trascinamento esercitato dall'accoppiamento sulle correnti di alimentazione.

Tale sistema però risultò del tutto inutile non appena fu possibile avere una potenza maggiore.

Furono allora adoperate sensibili termocoppie, di alta resistenza, al centro di un dipolo costituito da due sbarre rettilinee fissate ai terminali della termocoppia; ma la sintonia in tale sistema era molto larga e indefinita. Con l'aumentata energia irradiata dal nuovo trasmettitore fu possibile usare in seguito la termocoppia di un normale amperometro Weston da 0 a 125 milliampere, la cui bassa resistenza interna ci aveva permesso di ottenere già una sintonia molto più acuta.

Il nostro attuale ondometro, che è anche indicatore di irradiazione, fu allora sperimentato ponendo la termocoppia di detto strumento al centro di un aereo a dipolo, provveduto di grandi capacità terminali a forma di dischi relativamente grandi. Naturalmente, la lunghezza totale del dispositivo che assicura l'accordo è alquanto minore di quella che sarebbe necessaria con sbarre a dipolo rettilineo senza dischi terminali.

Essa è soltanto di 8 centimetri, invece di 28 centimetri, nel caso di onde di 60 centimetri di lunghezza, e tale disposizione assicura un notevole aumento di sensibilità e selettività.

Col sopraccennato tipo di ondometro è possibile misurare le onde irradiate con l'approssimazione di un millimetro, accoppiando all'ondometro un filo di Lecher che, se in sintonia, porta praticamente a zero le oscillazioni indotte nell'ondometro.

Tale dispositivo permette la taratura dello strumento campione, che è adoperato come indicatore di irradiazione per la regolazione della trasmissione ed anche della modulazione.

Dopo accertato il modo di far funzionare il nuovo circuito, fu possibile provare se esso permetteva la produzione di onde più corte, cioè dell'ordine di 40, 30 o 20 centimetri.

La prima cosa osservata fu che variando proporzionalmente tutte le dimensioni dei circuiti esterni e regolando nuovamente le tensioni applicate, le valvole permettevano la generazione di tutte le lunghezze d'onda comprese fra 80 e 50 centimetri con uguale efficienza.

Al di sotto dei 50 centimetri la sintonia del circuito di placca diventava molto indefinita e il rendimento cadeva rapidamente.

Sembrava pertanto che, col normale tipo di valvola usata, il circuito di placca a tale lunghezza d'onda più corta funzionasse come uno dei nostri ondometri normali a disco in cui le capacità terminali fossero sproporzionate alla lunghezza della sbarra che le congiunge.

Allo scopo di controllare l'esattezza di tale nostra deduzione, fu costruita una serie di valvole aventi gli elettrodi più piccoli e più corti e con esse fu possibile ottenere la generazione di tutte le onde comprese nella gamma continua fra 55 e 35 centimetri con efficienza pari a quella ottenuta con le valvole del tipo precedente. È ora interessante notare che mentre con l'uno o con l'altro tipo di valvole la elevata tensione di griglia e il potenziale negativo della placca dovevano essere aumentati col decrescere della lunghezza d'onda, la stessa lunghezza d'onda, ad esempio di 55 centimetri, poteva essere prodotta con un massimo di potenza con ciascun tipo di valvola, ma con un potenziale di griglia, nel caso delle valvole più piccole inferiore, a quello usato per le valvole normali impiegate su 60 centimetri di lunghezza d'onda.

* * *

L'idea di utilizzare un sistema basato sull'impiego di varie unità di riflettori affiancate, seguì logicamente quella della realizzazione delle unità trasmettenti testè descritte.

I vantaggi derivanti dalla possibilità di porre l'una accanto all'altra varie unità trasmettenti, funzionanti in fase, per aumentare la potenza della stazione radiatrice, sarebbero stati in parte perduti ove lo stesso metodo non fosse stato esteso alle varie unità di riflettore.

Dopo considerato il tipo di trasmettitore multiplo già realizzato, decidemmo di adottare, almeno per cominciare, i noti riflettori cilindrici parabolici.

Di tali tipi di riflettori possedevamo considerevole esperienza e la loro progettazione fu facile.

Tuttavia il rilievo dell'elevato rendimento che si notò in queste esperienze con onde ultra-corte mediante l'uso di sbarre riflettenti libere invece di fili o sbarre sostenute in ciascuna estremità da isolatori, portò ad uno speciale tipo di costruzione in cui ciascuna sbarra riflettente è sostenuta nel suo punto di mezzo da un tubo di rame piegato in curva parabolica.

La figura 6 dà una buona idea di questo tipo di riflettore a spina di pesce e del modo con cui le diverse unità possono venire montate l'una accanto all'altra per costituire un unico riflettore multiplo.

Tale riflettore è economico a costruirsi e offre importanti vantaggi per la sua bassa resistenza al vento.

L'apertura del riflettore fu fissata a 3 lunghezze d'onda, poichè sapevamo già per esperienza che con tale tipo di riflettore c'era poco da guadagnare aumentando tale apertura.

La distanza focale del riflettore fu stabilita ad un quarto della lunghezza d'onda adoperata.

La distanza fra le sbarre del riflettore fu determinata dalla opportunità di porre l'unità trasmittente e quella del riflettore a distanza atta ad assicurare il massimo effetto direttivo senza produrre pennelli secondari troppo grandi e nocivi.

La distanza critica è di tre quarti di lunghezza d'onda. La determinazione di tale distanza in accordo alle considerazioni precedenti e la necessità di evitare il contatto fra le aste del riflettore fissavano la lunghezza massima delle aste del riflettore stesso e di conseguenza lo spazio fra di esse, essendo questi due fattori interdipendenti.

Mentre l'aggiunta di due unità riflettenti a ciascun lato del riflettore, direttamente eccitato da una unità trasmittente, non portava alcun vantaggio sensibile, un notevole aumento della potenza irradiata si osservava ponendo il dipolo trasmittente non più al centro di una delle unità del riflettore, ma sulla linea congiungente i fochi di due unità adiacenti del riflettore.

Nel caso di trasmettitore multiplo, tale metodo di eccitare, ad esempio, 3 riflettori con due unità trasmittenti - assicurando così la simultanea eccitazione dell'unità riflettente di centro con due unità trasmittenti - offre un nuovo metodo per mantenere in fase le oscillazioni di vari trasmettitori.

In tale sistema, che permette di mantenere vari trasmettitori in fase, l'accordo del circuito esterno di filamento è assai importante e la regolazione della sintonia è assai critica.

Con questo sistema, formato da unità trasmittenti e unità riflettenti, molte altre combinazioni sono possibili; ciascuna di esse è in relazione a una differente potenza di radiazione che può rendersi variabile entro ampi limiti.

* * *

Nella figura 4 sono indicate alcune di queste combinazioni.

- a) mostra il caso, più semplice e più economico, di una unità trasmittente funzionante nel centro di una unità riflettente;
- b) si ha la combinazione, di maggior potenza, di una unità trasmittente che eccita due unità riflettenti;
- c) rappresenta la normale combinazione ora usata, consistente in due unità trasmittenti che eccitano tre unità riflettenti.

E' così di seguito per le due figure successive.

A destra di ognuna di queste combinazioni è stato disegnato il diagramma polare orizzontale relativo ad essa, ed i valori indicati in Decibels rappresentano il guadagno dovuto alle proprietà direttive, ottenute mediante un adatto spaziamento delle unità trasmittenti.

A questo valore deve essere aggiunto quello dovuto allo stesso riflettore parabolico, valore che è dell'ordine di 8 Decibels.

* * *

Le prime prove di ricezione a piccola distanza dimostrarono che - come per il trasmettitore - i circuiti di ricezione basati sul collegamento placca-griglia a mezzo di fili di Lecher non erano adatti. Il tempo impiegato per studiare le possibilità di tale tipo di circuito non fu, peraltro, perduto; poichè, oltre all'esperienza fatta col nuovo sistema di sintonizzare un ricevitore a mezzo di regolazione di resistenze e di letture di voltmetri e milliamperometri, gli esperimenti preliminari ci permisero di fare le seguenti importanti osservazioni.

Fu dimostrato che le nuove valvole trasmittenti da noi ottenute erano assai poco efficienti quando usate in ricezione: il che fece cadere la supposizione, più o meno generalmente accettata, che con i circuiti del tipo Barkhausen le stesse valvole siano adatte per la trasmissione e per la ricezione.

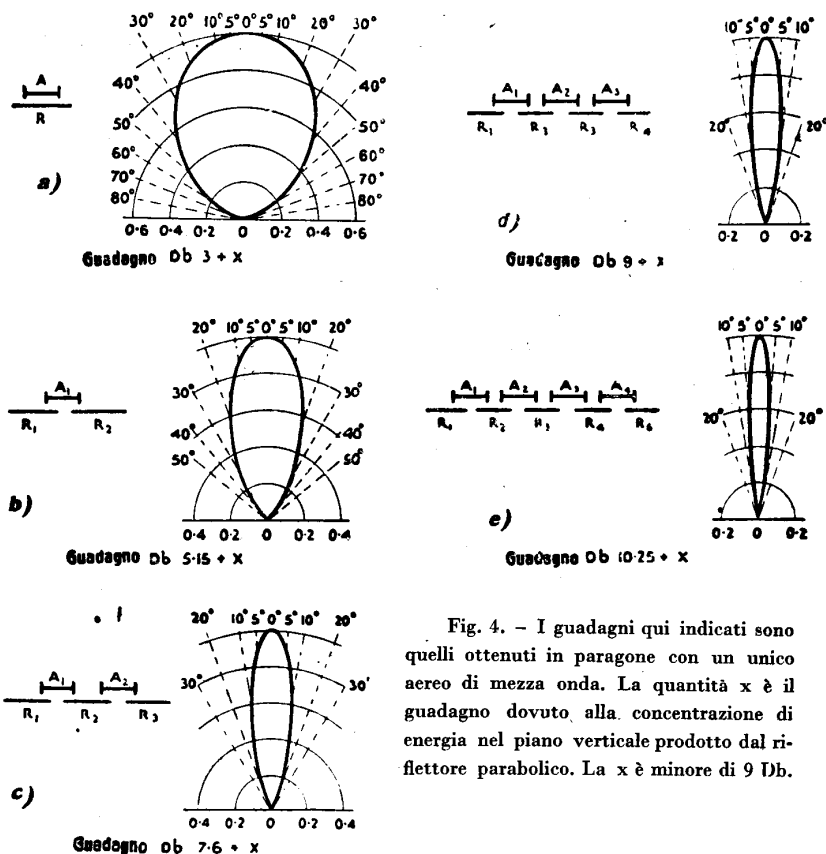


Fig. 4. - I guadagni qui indicati sono quelli ottenuti in paragone con un unico aereo di mezza onda. La quantità x è il guadagno dovuto alla concentrazione di energia nel piano verticale prodotto dal riflettore parabolico. La x è minore di 9 Db.

In contrasto con quanto era stato osservato per la trasmissione, si accertò che le placche delle valvole costituivano gli elettrodi attivi, e pertanto dovevano essere connesse all'areo al posto delle griglie.

Di più fu accertato che l'accordo era meglio assicurato variando le tensioni di griglia, di filamento e di placca quasi simultaneamente; e che il dispositivo non sarebbe stato di utilità pratica se i vari circuiti non fossero stati forniti di strumenti misuratori di corrente.

In vista dei risultati ottenuti da tali prove preliminari, il circuito con fili di Lecher fra placca e griglia fu definitivamente scartato e fu quindi costruito un ricevitore con gli stessi criteri del nuovo trasmettore, comprendente cioè circuiti accordati di placca, di griglia e di filamento interni ed esterni.

I risultati ottenuti con tale nuovo ricevitore furono molto soddisfacenti.

Non fu, tuttavia, in principio rilevato che esisteva un accoppiamento troppo stretto fra il circuito di placca e il circuito di griglia e che, quindi, non si poteva ottenere il grande vantaggio dei circuiti accordati di placca e di filamento interno.

Conseguentemente, tutti i primi tipi di ricevitore usati nelle esperienze preliminari non erano provvisti di sintonia di griglia e di filamento interno. La regolazione elettrica del ricevitore è critica, ma tale inconveniente è stato in gran parte superato mediante speciali resistenze che variano molto leggermente in relazione al movimento piuttosto ampio delle rispettive manopole di controllo.

La figura 5 dà lo schema del nostro ultimo circuito ricevente, presentemente in uso.

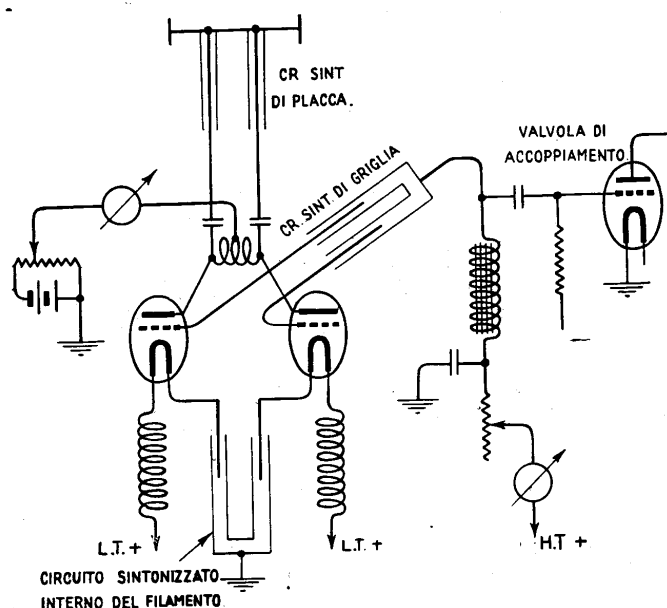


Fig. 5.

* * *

Numerose prove di portata e varie dimostrazioni ufficiali sono state eseguite; ciascuna di esse ha dimostrato le proprietà di queste onde ultracorte per comunicazioni a distanza.

La prima dimostrazione fu data ai rappresentanti del Ministero delle Comunicazioni ai primi di ottobre 1931 fra Santa Margherita Ligure e Sestri Levante, alla distanza di circa 18 chilometri attraverso il mare.

Il trasmettitore, consistente in due unità irradianti con quattro unità riflettenti, era installato a Santa Margherita sulla terrazza di una villa privata, ad una altezza di 50 metri sul mare.

Il ricevitore, che era del nostro primo tipo, era installato su di una piccola torre di segnalazione a Sestri Levante ad una altezza di 70 metri sul livello del mare.

L'altezza delle due stazioni era tale da permettere una visuale ottica di circa 39 chilometri; cioè di poco più del doppio della distanza a cui le prove erano eseguite.

Il 29 ottobre 1931 una seconda dimostrazione ebbe luogo fra le stesse posizioni, in presenza degli stessi rappresentanti, con un ricevitore perfezionato, munito, cioè, di tensione anodica variabile a frequenza ultraudibile; inoltre, in detta dimostrazione, fu provata la possibilità di impiegare un sistema soppressore di onda portante operato dalla voce.

La terza dimostrazione ebbe luogo il 19 novembre 1931, con la stessa stazione sperimentale trasmittente, fra Santa Margherita e Levanto, alla distanza di circa 36 chilometri quasi interamente attraverso il mare.

Il ricevitore a Levanto era installato sulla terrazza di una villa privata ad una altezza di 110 metri sul livello del mare.

La somma delle altezze delle due stazioni era di 160 metri, il che permetteva la visuale diretta ad una distanza di circa chilometri 44, e cioè superiore al 20 per cento di quella effettivamente coperta.

Tale dimostrazione fu data ai rappresentanti del Governo e della stampa.

È assai interessante notare che, quantunque gli apparecchi usati fossero gli stessi di quelli adoperati nella precedente prova fra Santa Margherita e Sestri Levante, l'aumentata distanza da chilometri 18 a chilometri 36 circa, portava una piccolissima differenza nella forza dei segnali ricevuti.

Successivamente, il 6 aprile 1932, ebbe luogo una dimostrazione in *duplex* fra Santa Margherita e Sestri Levante. Lo scopo di tale esperienza era quello di provare un nuovo modello di trasmettitore con apparato terminale telefonico a due fili e di dimostrare la possibilità pratica e i vantaggi di far lavorare trasmettitore e ricevitore nel medesimo riflettore.

Tale dimostrazione fu fatta alla presenza di esperti del Governo e di rappresentanti di Università italiane, nonché del Direttore della Radio Stazione Vaticana, reverendo Padre Gianfranceschi.

In tale occasione furono descritti gli apparecchi e si mantennero per varie ore eccellenti comunicazioni in *duplex*.

* * *

Dopo la dimostrazione in *duplex* fra Santa Margherita e Sestri Levante, S.S. Pio XI decise di adottare tale sistema per comunicazioni telefoniche fra la Città del Vaticano ed il Palazzo Apostolico di Castel Gandolfo presso Roma.

Tale impianto è di grande interesse perchè la distanza fra i due punti da collegare, circa 20 chilometri, è intieramente attraverso terra ed anche perchè la libera visione fra i due posti è ostacolata da alberi nei giardini Vaticani e sul Gianicolo.

Non avendo precedente esperienza di simili condizioni fu deciso di accertare la possibilità del pratico funzionamento del suddetto collegamento.

A tale scopo fu montato nella Città del Vaticano un piccolo trasmettitore sperimentale con un unico riflettore ed un ricevitore del tipo normale fu dapprima installato, con una sola unità riflettente, al Collegio di Mondragone presso Frascati, dal quale Collegio era possibile la netta visione del punto ove era installato il trasmettitore; in seguito tale ricevitore fu posto a Castel Gandolfo.

Tali interessanti prove ebbero luogo verso la fine di aprile 1932 e diedero ottimi risultati. I segnali erano ricevuti con grande intensità a Mondragone e solo leggermente più deboli a Castel Gandolfo, non lasciando così alcun dubbio sulla possibilità di un ottimo collegamento tra la Città del Vaticano a Castel Gandolfo nonostante che l'ubicazione delle due stazioni potesse sembrare sfavorevole a questo collegamento.

E' anche interessante notare che per raggiungere Mondragone le onde elettriche dovevano passare attraverso le torri e gli aerei della stazione ultrapotente della Italo Radio a Torrenova.

Il 26 aprile 1932, S.S. Pio XI si degnò assistere ad una dimostrazione del funzionamento dei nuovi apparecchi.

Alla fine del mese scorso l'apparecchio destinato a tale primo collegamento pratico su lunghezza d'onda al di sotto di un metro fu installato e provato e per quanto la inaugurazione ufficiale non sarà fatta prima del prossimo mese, il collegamento ha già dato ottimi risultati.

La figura 6 mostra il trasmettitore ed il ricevitore funzionanti nel medesimo riflettore, recentemente installati sul tetto dell'annesso alla Stazione Radio Vaticana.

La figura 7 mostra il controllo di questo trasmettitore e ricevitore come anche il dispositivo terminale telefonico che permette l'estensione del circuito radio a qualsiasi linea telefonica sia interna al Vaticano che esterna.

La figura 8 presenta lo stesso dispositivo visto posteriormente.

Le figure 6, 7 e 8 illustrano il nuovo sistema ad onde cortissime praticamente risultato dalle nostre recenti prove e ricerche.



Fig. 6.

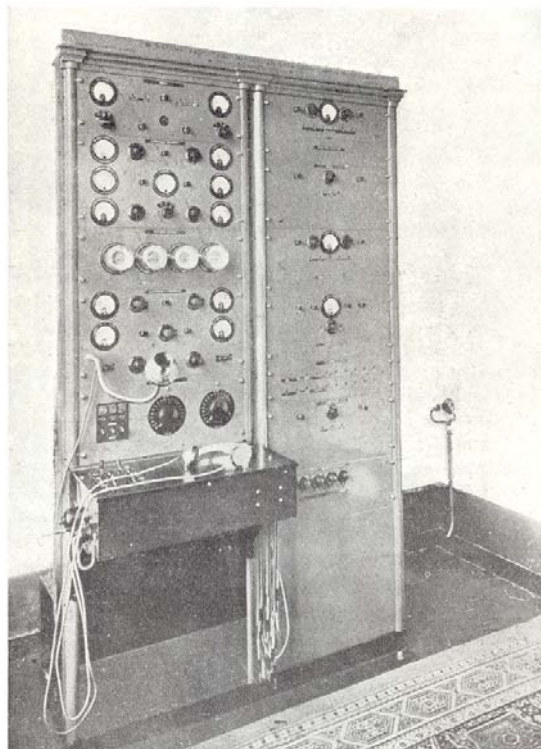


Fig. 7.

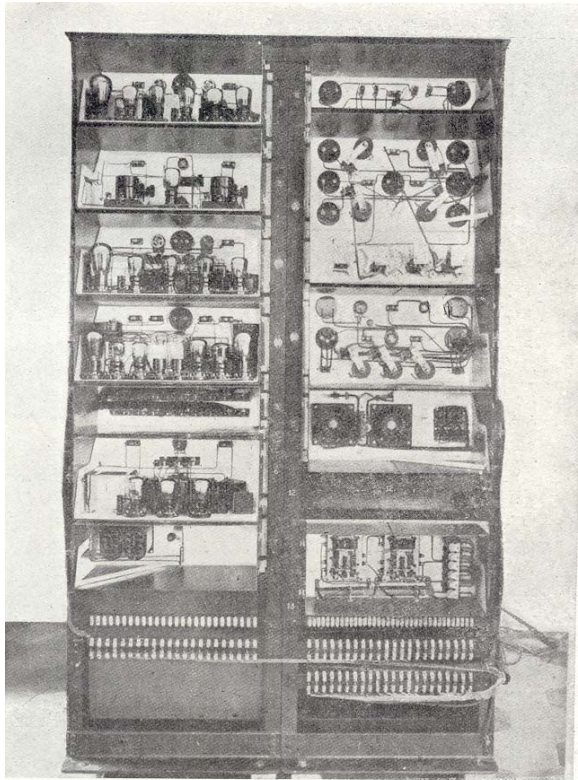


Fig. 8.

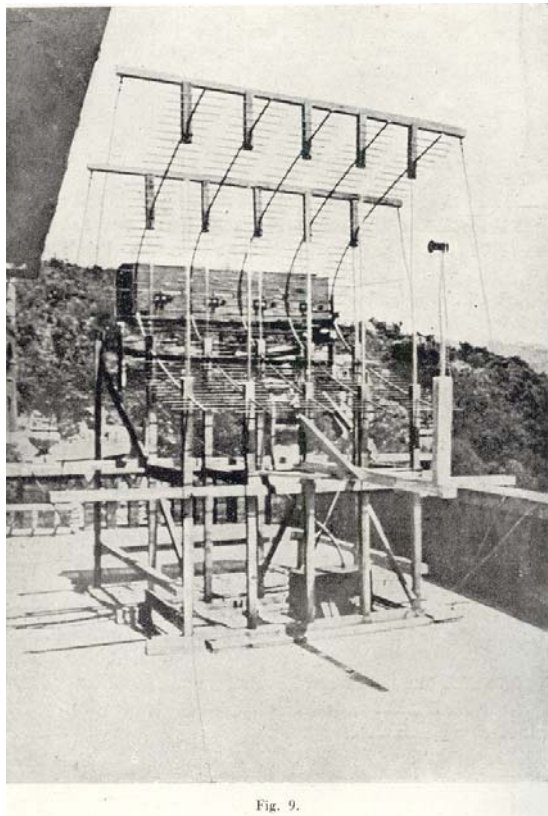


Fig. 9.

Allo scopo di eseguire prove a maggiore distanza fu costruito un trasmettitore di 4 unità, completo di un riflettore a 5 unità, che costituisce il più potente trasmettitore ad onde ultra-corte finora impiegato.

Il trasmettitore induceva 30 milliampere nell'ondametro ad una distanza di 12 metri e cioè a 21 lunghezze d'onda dall'apertura del riflettore.

La figura 9 è una fotografia di questo trasmettitore sperimentale, mentre la figura 10 rappresenta le quattro unità trasmittenti, funzionanti in fase, montate, l'una accanto all'altra, dietro ai riflettori, nell'interno di una cassetta che serve da schermo.

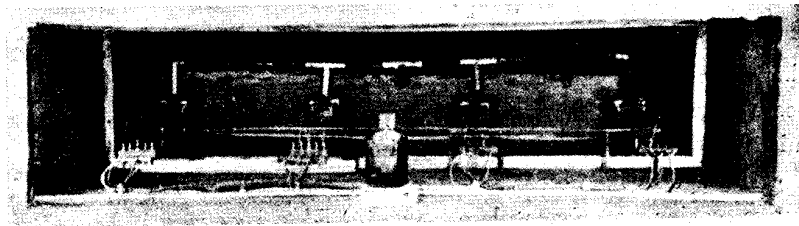


Fig. 10.

* * *

Nel luglio di quest'anno uno dei nostri ricevitori normali con una sola unità riflettente, fu installato sul ponte a poppa del panfilo *Elettra* e delle prove preliminari furono fatte con la nuova stazione trasmittente installata a Santa Margherita Ligure.

Tali prove dimostrarono che quantunque la distanza ottica corrispondente alla piccola altezza delle stazioni di Santa Margherita e del Panfilo fosse di solo 27 chilometri, i segnali erano ancora percettibili alla distanza di circa 52 chilometri e quindi assai al di là della portata ottica e nonostante la interposta curvatura terrestre.

I segnali cominciavano a perdere intensità in modo apprezzabile a circa 20 chilometri da Santa Margherita, cioè prima di raggiungere il limite ottico; ma al di là di tale distanza detti segnali diminuivano di intensità solo gradualmente, fino a che non furono più percettibili.

Al di là di 41 chilometri i segnali mostravano profonda evanescenza che di tanto in tanto li faceva sparire completamente.

Alla distanza di 33 chilometri la parola era ancora comprensibile al 90 per cento, ma da 37 chilometri fino alla distanza a cui i segnali sparivano, solo segnali Morse erano intelligibili.

* * *

Alla fine del luglio 1932, l'impianto della stazione di Santa Margherita fu trasportato all'Osservatorio Sismografico di Rocca di Papa posto a circa 19 chilometri a sud di Roma ad una altezza di 750 metri sul livello del mare e a 24 chilometri circa dalla costa.

Il 2 agosto buone conversazioni in *duplex* furono stabilite fra tale nuova stazione sperimentale e il panfilo *Elettra*, ancorato dinanzi ad Ostia ad una distanza cioè di circa 29 chilometri.

In tale occasione la stazione di Rocca di Papa trasmetteva su onde di cm. 57 e quella del panfilo *Elettra* su onde di 26 metri.

Il 3 agosto il panfilo dovette lasciare Ostia e dirigersi al Porto di Civitavecchia a causa del cattivo tempo; tale viaggio fu utilizzato per prove di propagazione.

Durante queste prove, allo scopo di mantenere il fascio d'irradiazione diretto sul panfilo, il riflettore a Rocca di Papa veniva girato di 5 gradi, ad est di Ostia, ogni mezz'ora.

Ottimi segnali erano così ricevuti sul panfilo fino ad una distanza di 85 chilometri. A tale distanza l'intensità del segnale diminuiva notevolmente, ma rimaneva perfettamente udibile malgrado la presenza di colline che mascheravano completamente la posizione della stazione trasmittente.

I segnali si perdevano soltanto ad una distanza di chilometri 90 e cioè quando, all'entrata del porto di Civitavecchia, il riflettore del ricevitore non poteva più essere mantenuto in direzione di Rocca di Papa.

Il 6 agosto il panfilo, con a bordo i rappresentanti del Governo italiano, si poneva in rotta sulla congiungente Rocca di Papa-Golfo Aranci, Sardegna, allo scopo di studiare la propagazione di queste onde ultra-corte a distanza relativamente grande.

Le prove furono iniziate quando il panfilo era a 63 chilometri da Rocca di Papa con eccellenti comunicazioni telefoniche in *duplex* e con segnali assai forti da ambo le estremità del collegamento.

A circa 107 chilometri era ancora possibile una buona comunicazione in *duplex*, e cioè già a circa 10 chilometri oltre la portata ottica; ma poco dopo i segnali perdettero rapidamente la loro intensità: divennero assai variabili, con lenta e profonda evanescenza, fino a che ad una distanza di 128 chilometri essi non poterono essere percepiti che di tanto in tanto.

L'ascolto, naturalmente, continuò malgrado tali cattive condizioni di ricezione; ma alla distanza di 161 chilometri l'intensità media dei segnali aumentò improvvisamente e raggiunse, in breve tempo, la stessa intensità osservata alla distanza di 74 chilometri.

Questa ripresa dei segnali durò fino a che fu raggiunta la distanza di 175 chilometri, oltrepassata la quale essi tornarono ad essere rapidamente evanescenti, assumendo lente, profonde variazioni, e furono da ultimo percepiti alla distanza di 203 chilometri.

Il 10 agosto tale importante prova a distanza fu ripetuta. Sui primi 112 chilometri i risultati si ripetettero come nella prima prova; ma al di là di tale distanza essi furono diversi nei seguenti rapporti:

1) I segnali invece di divenire evanescenti con rapidità fino a giungere alla completa scomparsa, assumevano alla distanza di 115 chilometri la caratteristica di una lentissima e profonda evanescenza, ma mantenevano una intensità media quasi costante fino a 176 chilometri da Rocca di Papa. .

2) A tale distanza, invece di perdersi repentinamente, i segnali mantenevano l'evanescenza lenta e profonda con una progressiva diminuzione dell'intensità media, fino a divenire inaudibili di tanto in tanto ed a rendere possibile la loro intercettazione per l'ultima volta sul panfilo, alla distanza di 224 chilometri da Rocca di Papa.

Il panfilo arrivò la stessa notte a Golfo Aranci (Sardegna) e la mattina dopo l'apparecchio ricevente fu sbarcato ed installato sul Semaforo di Capo Figari a 340 metri sul livello del mare.

La stazione di Rocca di Papa era stata richiesta di iniziare nuovamente la trasmissione alle ore 16. Avemmo allora la grande soddisfazione di ricevere i suoi segnali quasi immediatamente.

Le prove proseguirono fino a mezzanotte. I segnali assunsero la caratteristica di evanescenza lenta e profonda, già osservata sul panfilo. Essi, tuttavia, permettevano di tanto in tanto la perfetta intelligibilità della parola, mentre nei periodi sfavorevoli divenivano, per ogni scopo pratico, inaudibili. La loro intensità media sembrava migliore prima del tramonto che dopo.

La distanza fra Rocca di Papa e Capo Figari è di 269 chilometri mentre la distanza ottica, considerata l'altezza delle due località, è di circa 116 chilometri.

È interessante aggiungere che a Capo Figari l'angolo di ricezione fu varie volte misurato inclinando il riflettore e fu trovato che le onde emesse da Rocca di Papa raggiungevano la stazione sperimentale ricevente da una direzione orizzontale.

* * *

In conclusione:

Sento di poter dire che con queste esperienze sono state investigate per la prima volta alcune delle pratiche possibilità di una gamma di onde elettriche finora inesplorata, ed una nuova tecnica, destinata ad estendere considerevolmente il già vasto campo delle applicazioni delle onde elettriche alle radio-comunicazioni, è stata creata.

L'uso pratico delle micro-onde, impiegate nel collegamento della Città del Vaticano con Castel Gandolfo, costituirà il primo esempio di quello che sarà, a mio avviso, un nuovo ed economico mezzo di sicure comunicazioni radio, esenti da disturbi elettrici, assai adatte per il servizio fra isole e fra isole e continenti, nonché fra luoghi non troppo distanti fra loro.

Il nuovo sistema non risente della presenza di nebbia ed offre un alto grado di segretezza, principalmente per le sue qualità direttive.

I suoi usi strategici, in caso di guerra, sono evidenti; così pure è evidente il suo pratico valore per la Marina e per l'Aeronautica, visto che le comunicazioni possono essere limitate ad una qualsiasi desiderata direzione.

Inoltre, il fatto che la portata di tali onde appare limitata permette di realizzare altri vantaggi in tempo di guerra e di ridurre grandemente la possibilità di mutua interferenza fra stazioni distanti.

Debbo aggiungere, però, che in merito alla limitata portata di tali micro-onde, l'ultima parola non è stata ancora pronunciata.

È stato già dimostrato che esse possono propagarsi intorno ad una porzione della curvatura terrestre a distanze maggiori di quelle previste e a tal proposito non posso fare a meno di ricordare che nel 1901, proprio quando io stesso riuscii per primo a provare che le onde elettriche potevano essere trasmesse e ricevute attraverso l'Oceano Atlantico, degli insigni matematici erano di opinione che la distanza che poteva essere raggiunta dalle onde elettriche sarebbe stata limitata a solo circa 300 chilometri (2).

In ogni caso il nuovo sistema è ora utilizzabile per sostituire vantaggiosamente le segnalazioni ottiche in tutte le loro applicazioni a grande distanza come, per esempio, fra semafori lungo le coste e fra forti costruiti lungo una frontiera, e, in generale, esso sarà molto vantaggioso in quei casi in cui la costruzione di un ordinario collegamento o cavo telefonico a piccola distanza sia difficile o troppo costosa.

Altre applicazioni, come quelle relative alla radiodiffusione circolare ed alla televisione, sono attualmente allo studio.

Sono sicuro che la ricerca di nuovi campi di applicazione di queste onde elettriche, finora inutilizzate, porterà alla realizzazione di metodi e di apparecchi assai perfezionati.

(1) Comunicazione all' American Institute of Electrical Engineers il 20 giugno 1922. « Proc. Institute of Radio Engineers », vol. X, n. 4, New York, August 1922.

Results obtained over very long distances by Short Waves and Directional Wireless Telegraphy, " Journal Royal Soc. Arts. ", vol. 72 (1924), pag. 607.

Radio Communications, idem, vol. 73, pag. 121.

Radio Communications, Comunicazione all' Institute of Civil Engineers, 26 ottobre 1926. vol. 222, Session 1925-1926, Part. 2.

Le Radiocomunicazioni a Fascio, " Nuova Antologia ", Roma, 16 novembre 1926.

Radio Communications. Comunicazione all' American Institute of Electrical Engineers and Institute of Radio Engineers, October 17, New York City, 1927.

(2) H. M. POINCARÉ, *Notice sur la télégraphie sans fil*, « Annuaire pour l'an 1902 des bureaux de Longitudes » . Paris, 1902.