



LA RADIOSPECOLA

dal 1965 ...il mensile dei radioamatori bresciani



Il giurassico della Radio



BOLLETTINO SCIENTIFICO-INFORMATIVO della SEZIONE DI BRESCIA
A.R.I. ASSOCIAZIONE RADIOAMATORI ITALIANI



“La Radiospecola” è il nome che nel lontano 1965 il neo eletto Segretario di Sezione Edo Bini I1BAT (poi diventato I2BAT) scelse con il beneplacito di tutti per un bollettino informativo di poche pagine atto a migliorare le comunicazioni scritte con i soci.

L'ispirazione giunse dalla Specola Cidnea, costruzione per Osservazioni Astronomiche situata all'interno del Castello di Brescia a fianco dell'allora Sezione dei Radioamatori. Negli anni e nelle sapienti mani dei soci redattori I2BAT, I2BZN, I2XKY e I2RTT e dei tanti collaboratori tra cui gli assidui I2RTF, I2RD e I2DTG, assunse un ruolo fondamentale nel mantenere i soci in contatto, aggiornare i radioamatori sulle ultime novità nel mondo della radio e rendere pubbliche le attività di Sezione fino ai giorni nostri. Dal primo fascicolo pilota del dicembre 1964 questa è la pubblicazione numero **649**.

IU2IBU





Il Giurassico della Radio

Il microfono a vena liquida di Quirino Majorana usato per pilotare un trasmettitore ad arco Poulsen costruito dalla ditta G. CAMPOSTANO

di I1VXA Alberto Genova & Alberto Erbea

Torino, Museo della Radio e della Televisione; si trova in via Giuseppe Verdi al numero civico 16, a due passi dalla Mole Antonelliana; il museo è di proprietà del Centro di Produzione RAI di Torino.

Il museo è aperto tutti i giorni dalle 9:30 alle 18:30, ad eccezione del martedì, giorno di chiusura.

Alla domenica, oltre al personale RAI, sono presenti alcuni soci A.I.R.E. per accompagnare il visitatore nelle visite guidate.



Fotografia n° 1

Negli spazi espositivi del museo sono raccolti con molta cura oggetti che testimoniano la storia della telegrafia, della telefonia, dell'evoluzione della radiotecnica e della televisione.

Entrando nel museo, anche il più neofita dei visitatori rimane attratto da una serie di oggetti strani e inusuali per il nostro tempo. Personalmente, io ho sempre guardato con attenzione e curiosità due oggetti raccolti nella stessa vetrina: il primo, identificato quale trasmettitore ad arco Poulsen (fotografia n° 1), costruito dalla ditta G. CAMPOSTANO, e il secondo come microfono a vena liquida di Quirino Majorana (fotografia n° 2).

Entrambi questi oggetti sono stati costruiti nella prima decade del 1900.



Fotografia n° 2

Sapevo dell'esistenza di diversi tipi di microfoni: a carbone, magnetodinamici, a

cristallo, a condensatore, ma di microfoni ad acqua non avevo mai avuto occasione di vederne uno.

Stessa considerazione per il trasmettitore ad arco Poulsen. I trasmettitori oggi sono di piccola dimensione, racchiusi in un contenitore con diverse manopole sul pannello frontale, con un ampio display per poter controllare tutti i parametri. Più guardo il trasmettitore ad arco Poulsen della vetrina, più mi rendo conto che il nostro trasmettitore è proprio appartenente al giurassico della radio.

Chissà quali saranno le operazioni per farlo funzionare, come si dovrà operare per farlo oscillare, e in quale modo e con quale soluzione circuitale il microfono ad acqua dovrà essere configurato per riuscire a pilotare il trasmettitore?

Questa curiosità diventa sempre più crescente; coinvolgo il mio amico Alberto Erbea, anche lui socio A.I.R.E., ci procuriamo della documentazione per riuscire a capire meglio i principi di funzionamento di questi sistemi, la curiosità tecnica a poco a poco prevale sulle difficoltà che andremo a incontrare.

Finalmente un giorno ci convinciamo a iniziare questa esperienza, parliamo con il nostro Presidente A.I.R.E., Ferrero Andrea, per contattare il Direttore del Museo RAI, Dott. Alberto Allegranza, al quale illustriamo come pensiamo di operare per far rivivere questi oggetti del museo. Siamo convincenti; ci viene accordato di prelevare il materiale per il restauro conservativo e per una dimostrazione storico-scientifica successiva, prima di ritornarlo, ad evento avvenuto; ottimo!! Ricordo, era una domenica di gennaio 2022, abbiamo caricato il tutto nel bagagliaio della 500 familiare e alla sera siamo arrivati nell'officina di Borgosesia, luogo messo a disposizione dal servizio tecnico del Lanificio Colombo. La possibilità di poter utilizzare questo spazio e le attrezzature a disposizione sono state

determinanti nella riuscita del restauro dei nostri apparecchi. Per questa ragione siamo riconoscenti alla Direzione del Lanificio per questa concessione.

UN PO' DI STORIA

Siamo in Inghilterra, a Londra, alla fine del 1800, l'illuminazione pubblica veniva garantita con le lampade ad arco. Entro due elettrodi di carbone veniva applicata una corrente continua e fatto scoccare un arco elettrico che produceva una luce molto chiara e brillante, ma con un piccolo problema: l'arco produceva anche rumori fastidiosi quali ronzii e sibili.



William Duddell

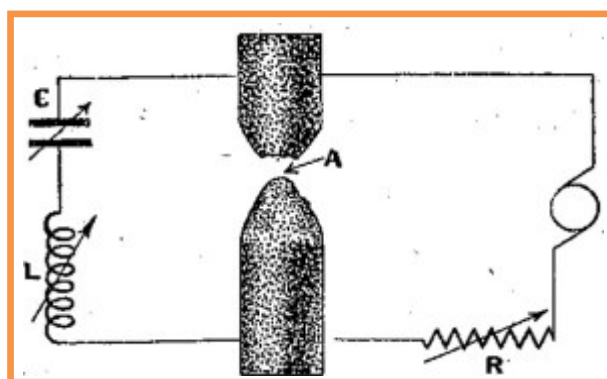


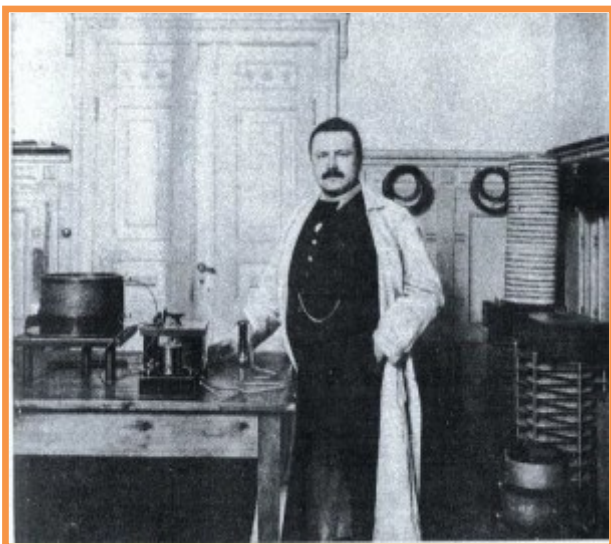
Fig. 1 Circuito dell'arco cantante di William Duddell

La comunità affida al fisico e ingegnere elettrico William Duddell (Kensington, 1 luglio 1872, Wandsworth, 4 novembre 1917)

l'incarico per eliminare questi problemi. Duddell inizia la sua attività, collega all'arco elettrico dei condensatori e delle induttanze in serie, non riesce a ridurre i rumori ma, con stupore, Duddell scopre che, in funzione della capacità e dell'induttanza applicate, il sistema diventa un generatore di note musicali, successivamente chiamato "arco cantante" (Fig. 1).

Duddell, tra le altre cose, ha praticamente realizzato un oscillatore elettrico, limitato alle frequenze audio, gettando le basi per la nascita della musica elettrica e dei trasmettitori ad arco da utilizzare per la telefonia senza fili. Tuttavia, questo arco di Duddell, così come era stato prodotto dal suo inventore, non consentiva di produrre oscillazioni superiori a 30 kHz, e questa frequenza era insufficiente per la telefonia senza fili.

Si doveva quindi aumentare la frequenza dell'arco cantante e qui entra in gioco l'ingegnere danese Valdemar Poulsen (Copenaghen, 23 novembre 1869 - Copenaghen, 23 luglio 1942).



Valdemar Poulsen nel suo laboratorio

Nel sistema Poulsen l'arco (Fig. 2) viene prodotto tra 2 elettrodi, uno di carbone "catodo", collegato al negativo del generatore,

e uno di rame "anodo", collegato al lato positivo. Una dinamo provvede a fornire una tensione di circa 500 Volt.

Il catodo di carbone ruota lentamente per assicurare un consumo regolare, l'anodo è un tubo di rame raffreddato dall'interno con acqua.

Poulsen fa scoccare l'arco non più all'aria libera ma in una camera saturata con un'atmosfera formata da idrogeno e idrocarburi. Inoltre Poulsen posiziona due grossi elettromagneti perpendicolari all'arco; il tutto con lo scopo di aumentare il frazionamento dell'arco e poter raggiungere la frequenza di risonanza ideale $1 / 2\pi\sqrt{LC}$

Con questi miglioramenti Poulsen riesce a produrre oscillazioni fino a 500 kHz; siamo nel 1903, Poulsen ha realizzato il primo trasmettitore al mondo ad onde persistenti.

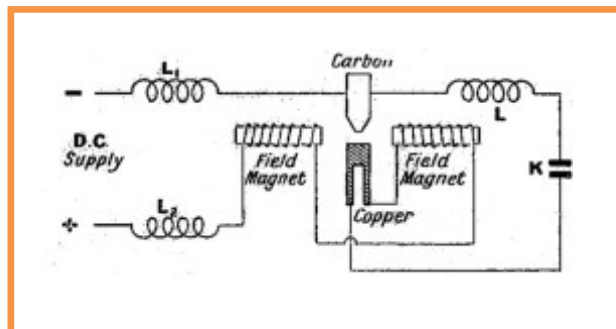


Fig. 2 Circuito di principio dell'arco Poulsen

Il sistema Poulsen (vedi Fig. 3) viene immediatamente applicato alla radiotelegrafia e successivamente alla radiofonia.

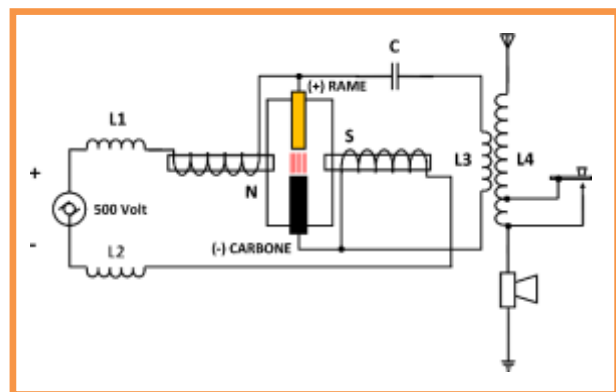


Fig. 3 Il sistema Poulsen impiegato con il tasto telegrafico o con un microfono

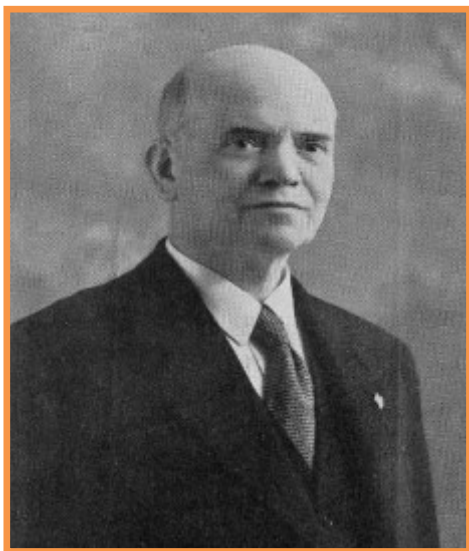
Durante le trasmissioni l'arco è sempre in funzione, non è possibile spegnerlo e riaccenderlo solo al bisogno perché potrebbe difficilmente riprendere il proprio regime oscillatorio con regolarità. La manipolazione avviene posizionando il tasto telegrafico sul circuito d'antenna per mettere in corto circuito alcune spire dell'induttanza L4, in tal modo si ottiene una trasmissione radiotelegrafica per spostamento di frequenza.

A tasto alzato la frequenza irradiata è più bassa di quella che si ha a tasto abbassato. La frequenza a tasto alzato è detta di riposo, quella a tasto abbassato è la frequenza di lavoro e su questa viene accordato l'apparecchio ricevente.

Successivamente, in serie alla stessa bobina di antenna, venne collegato un microfono, ottenendo onde ad alta frequenza idonee per trasmettere a distanza tutto lo spettro della voce umana.

Il trasmettitore realizzato dalla Ditta G. Campostano, il cui restauro è messa in servizio sono illustrati nelle pagine successive, utilizza queste soluzioni circuitali.

Parliamo ora del microfono realizzato dal fisico italiano Quirino Majorana (Catania, 28 ottobre 1871 – Rieti, 31 luglio 1957).



Quirino Majorana

Majorana, laureato in ingegneria nel 1891 e fisica sperimentale nel 1893, fu Direttore dell'Istituto Centrale dei Telefoni e dei Telegrafi di Roma dal 1904 al 1914. Successivamente ricoprì l'incarico di Professore di Fisica Sperimentale al Politecnico di Torino fino al 1921. In quell'anno viene chiamato dall'Università di Bologna alla cattedra di fisica sperimentale che fu di Augusto Righi.

Majorana dedica gran parte della sua vita tecnico-scientifica allo studio della telefonia senza fili; fu il primo a trasmettere la parola e la musica su una distanza di circa 5 km tra la stazione dell'Istituto Superiore dei Telegrafi in Roma e la stazione di Monte Mario appartenente alla Marina.

Agli inizi del 1900 andavano per la maggiore i microfoni a granuli di carbone, adatti per essere impiegati in campo telefonico ma completamente inadatti per sopportare forti correnti come quelle presenti nel circuito di un trasmettitore ad arco Poulsen.

Majorana, per superare queste difficoltà, realizza il suo microfono a vena liquida (semplicemente denominato microfono ad acqua).



Microfono a vena liquida (microfono ad acqua)

In questo microfono, per il suo funzionamento, si utilizza dell'acqua conduttrice di corrente elettrica per l'aggiunta di una piccola quantità di acido solforico, circa il 5%. L'acqua è messa in circolazione tramite una pompa e un circuito apposito, in tal modo si possono usare correnti di discreta intensità senza alcun surriscaldamento.

Vediamo ora il funzionamento di questo microfono.

Se una vena liquida esce verticalmente da un tubicino convogliatore T attraverso una stretta sezione (Fig. 4), scorre mantenendo la forma cilindrica per un tratto, per poi in G iniziare a contrarsi e successivamente trasformarsi in gocce.

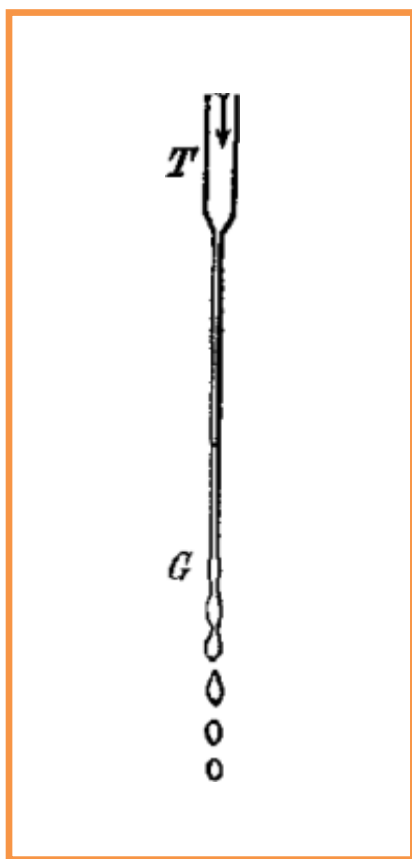


Fig. 4

Guardiamo ora la Fig. 5, il tubo T ha una piccola apertura A ove è presente una membrana elastica e sottile, collegata meccanicamente alla membrana M.

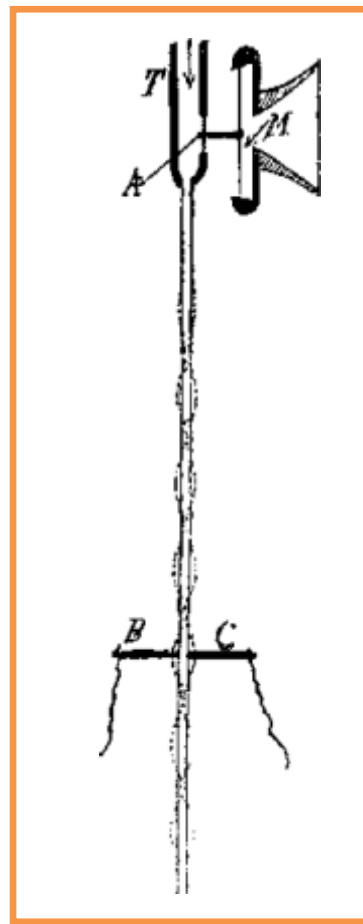


Fig. 5

M è una membrana di mica che produce delle vibrazioni meccaniche quando colpita da voci o suoni. In tale condizione M modifica la posizione di A che comprime l'acqua contenuta in T. In presenza di vibrazioni meccaniche, il valore della pressione del liquido in uscita varia come da linea tratteggiata. B e C sono i due elettrodi collegati con il trasmettitore ad arco Poulsen, attraverso i quali si fa passare il getto d'acqua. Variazioni della forma e del getto d'acqua acidulata provocano variazioni della resistenza elettrica del getto. Di conseguenza si osserva una variazione della corrente in antenna che rende possibile la trasmissione di voci o suoni nel trasmettitore ad arco Poulsen. In fig. 6 una sezione del microfono come realizzato dal Majorana; le parti tratteggiate sono realizzate con ebanite.

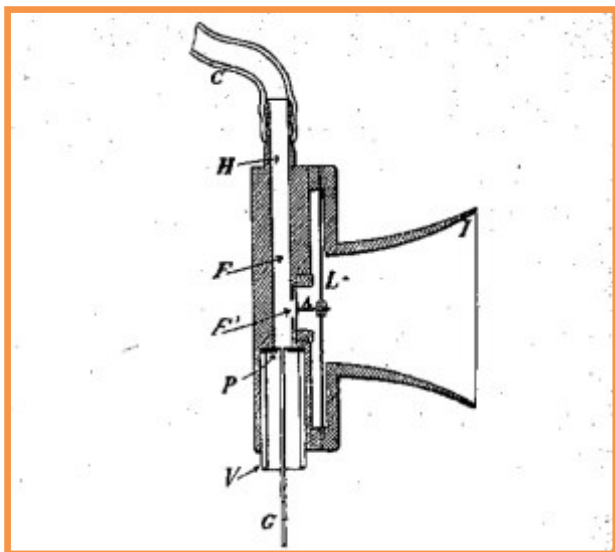


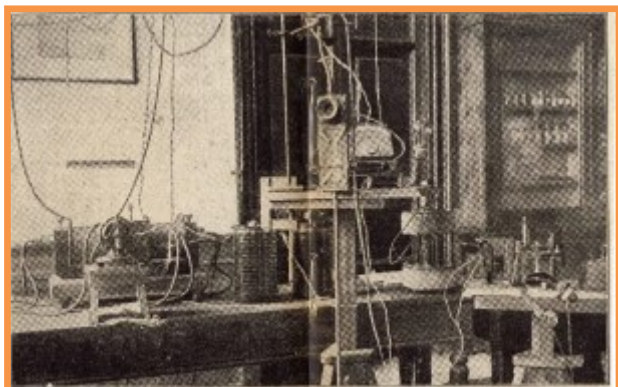
Fig. 6

Nella parte superiore un foro di diametro 5 mm è collegato tramite un tubo di gomma C alla pompa dell'acqua acidulata.

Il foro F nella parte inferiore è chiuso da un ugello cilindrico in platino P avente al centro un foro calibrato di diametro 0,80 mm; bloccato nella sua posizione dal tubo V.

Il foro FI è chiuso con una sottile membrana di platino che nel centro alloggia un'asta metallica A collegata alla membrana di mica LI.

Parlando attraverso il tromboncino I, le vibrazioni meccaniche della voce o dei suoni sono concentrate su LI per una buona resa del microfono.



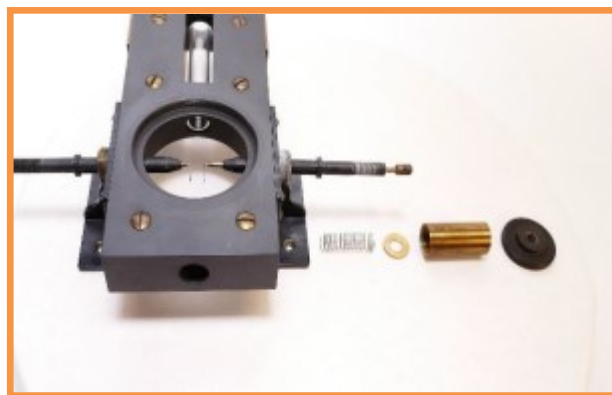
Il laboratorio di Quirino Majorana, al centro il microfono ad acqua, sul lato sinistro un trasmettitore ad arco Poulsen

VENIAMO ORA AL RESTAURO E MESSA IN FUNZIONE DI QUESTI OGGETTI

L'attività di messa in funzione ha avuto inizio con il restauro del microfono ad acqua; l'attività sembrava semplice ma, in effetti, si è rilevata piuttosto delicata. In modo particolare avevamo tra le mani un pezzo storico unico nel suo genere, la sua rottura, anche solo parziale, avrebbe precluso la possibilità di portare a termine il restauro.

Il nostro microfono è perfettamente uguale a quello illustrato in Fig. 6.

Inizialmente abbiamo collegato un tubo di plastica in entrata e uno in uscita per controllare il comportamento del microfono in presenza di acqua. Un vero disastro, zampilli di acqua fuoriuscivano da ogni parte del microfono, da qui la decisione di smontarlo in tutti i pezzi che lo componevano.

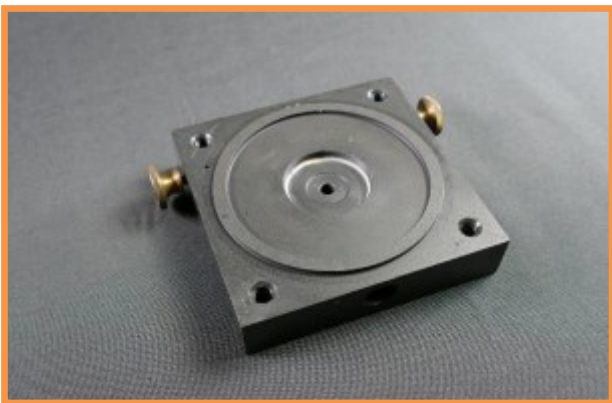


Microfono parzialmente smontato

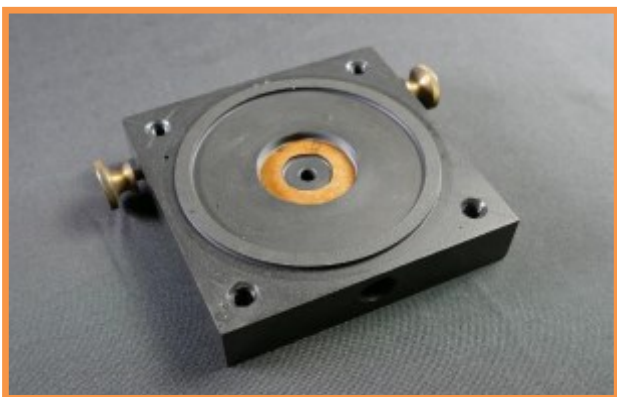


Membrana di platino a sinistra e membrana di mica I a destra

Gran parte delle guarnizioni erano completamente mancanti mentre quelle presenti erano secche e si rompevano al minimo contatto. Da qui la decisione di rifare completamente, con prodotti moderni, tutte le guarnizioni necessarie. Abbiamo utilizzato anelli O-RING di diametri diversi, pasta sigillante e speciale carta per guarnizioni.



Sede della lamina di platino con applicazione di mastice sigillante



La sede di prima con la guarnizione finale di carta



Lamina di platino



Rimessa in posizione la lamina di platino e bloccata nella sua posizione

Grande attenzione è stata posta nella movimentazione della membrana di mica LI di Fig. 6 e pure nella movimentazione della sottile membrana di platino, sempre di Fig. 6. La membrana di platino è collegata al centro della membrana di mica tramite una micro vite di diametro 1 mm bloccata con un dado e contro-dado.

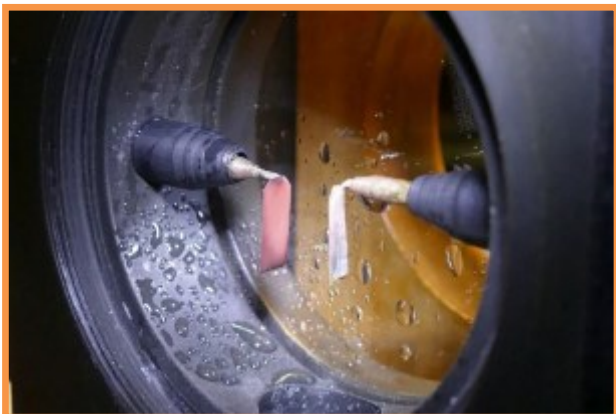
Al termine di tutte queste attività, ricollegato il microfono al circuito dell'acqua, con soddisfazione non abbiamo più osservato delle perdite; da qui abbiamo iniziato le prove di funzionamento.

Abbiamo collegato il microfono a una sorgente di corrente continua a 12 Volt e in serie abbiamo posizionato una lampadina. Messa in circolazione l'acqua acidulata, acceso l'alimentatore, con soddisfazione abbiamo verificato che la nostra voce era capace di variare in modo molto evidente la luminosità della lampadina. In questa occasione abbiamo avuto modo di verificare che questo microfono è molto sensibile, in quanto capace di rivelare dei rumori piuttosto distanti dal laboratorio in cui facevamo le prove.

Le sorprese comunque non hanno tardato ad arrivare, dopo un periodo di prova di circa 30 minuti il microfono ha smesso di funzionare. Con sorpresa le due lamelle di platino B e C, collegate alla sorgente di corrente continua

entro le quali scorreva l'acqua acidulata, erano di colore rossastro e immediatamente dopo sparite nel nulla.

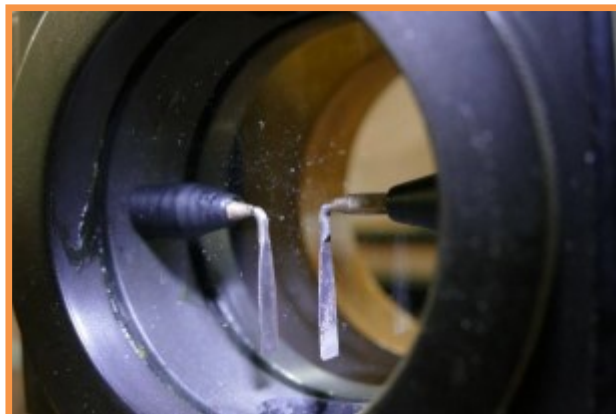
Con ogni probabilità queste lamelle non erano di platino ma una copia di ottone nichelato per fornire l'impressione del buon funzionamento senza impiegare un metallo molto costoso quale il platino.



Lamelle B e C (si pensava di platino) collegate alla sorgente di corrente continua

La ricerca sul mercato presso i venditori di materiali metallici speciali non ci ha permesso di acquistare quanto ricercavamo. Per questo motivo abbiamo optato per la costruzione delle lamelle impiegando dell'acciaio inox TP 316, ottenendo due lamelle uguali per forma e colore di quelle di platino.

La durata di queste lamelle è stata eccezionale e comunque hanno garantito il funzionamento del microfono per tutte le prove che abbiamo realizzato senza nessun problema.

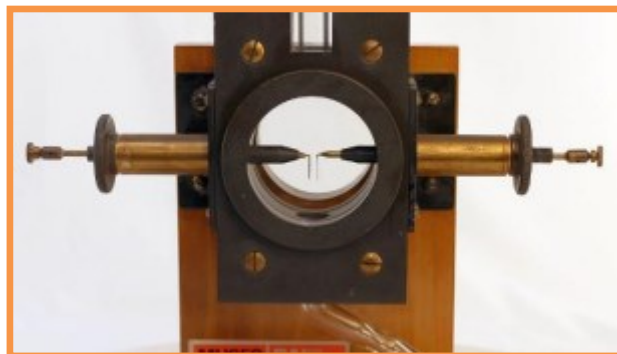


Lamelle B e C in acciaio inox TP 316

Ora il nostro microfono è pronto per essere utilizzato insieme al trasmettitore ad arco Poulsen.



Il microfono rimontato



Il microfono riposizionato sul suo supporto

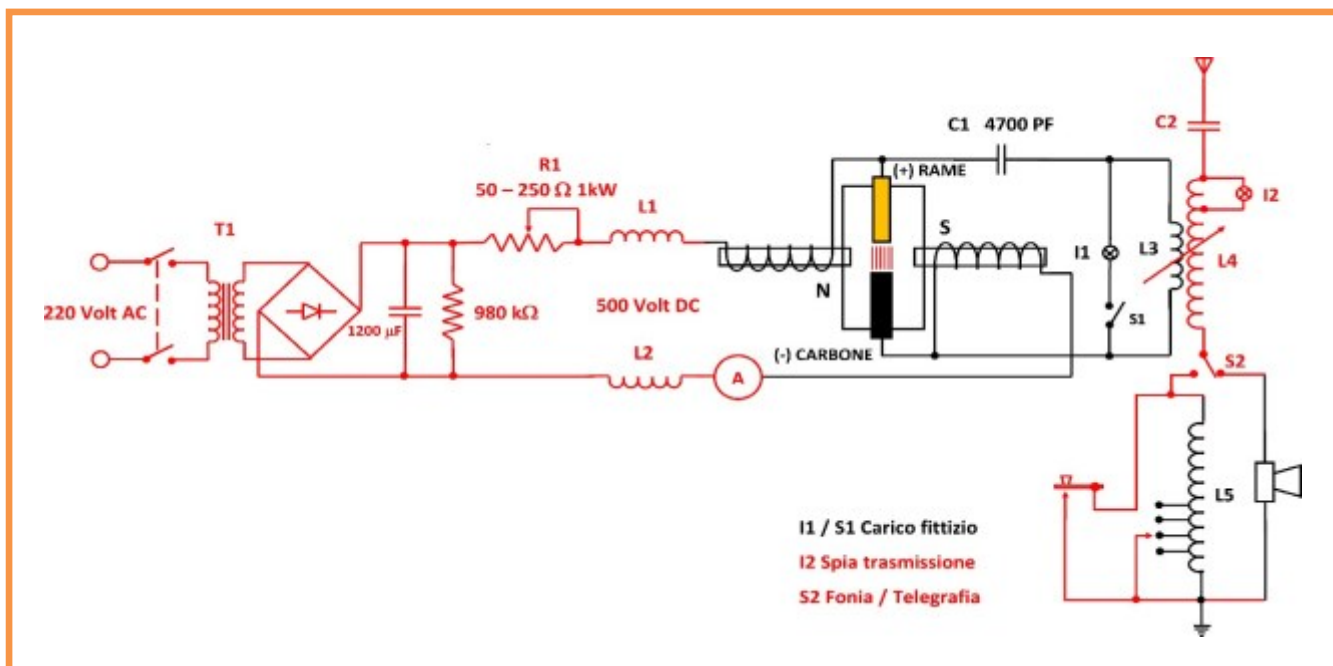
RESTAURO DEL TRASMETTITORE AD ARCO POULSEN

Di seguito lo schema elettrico completo del trasmettitore. In nero le parti che erano presenti all'inizio del restauro, in rosso le parti integrate in quanto risultavano mancanti.

La prima parte costruita è stata l'alimentatore di alta tensione. Abbiamo voluto realizzare un alimentatore robusto, capace di fornire in modo continuo 500 Volt DC con una corrente di 30 Ampere, utilizzando solo componenti moderni e affidabili a sostituzione della dinamo.

Guardiamo insieme lo schema sopra riprodotto.

Il trasformatore T1 da 1500 VA, quando alimentato al primario con 230 Volt, fornisce al secondario 390 Volt.



Il ponte raddrizzatore è stato realizzato con n° 4 diodi da 600 Ampere raffreddati con dissipatore. Segue il condensatore di livellamento da 1200 µF e la resistenza di scarico da 980 Ω.

Il potenziometro R1 è stato realizzato con una serie di resistenze elettriche da 220 Volt 1.000 Watt che vengono inserite volta per volta tramite robusti interruttori. Questo potenziometro permette di fare l'accensione dell'arco con 150 Ω per poi passare, con arco acceso e camera calda, a 250 Ω per regolare la corrente dell'arco e la relativa potenza di emissione. E infine troviamo le due impedenze di filtro L1 e L2 per proteggere convenientemente l'alimentatore dai ritorni di radiofrequenza.

Un amperometro da 40 A F.S., usato per misurare la corrente fornita all'arco, è l'unico componente dell'alimentatore appartenente al passato.



L'amperometro per misurare la corrente arco



L'interno dell'alimentatore

IL RESTAURO DEL TRASMETTITORE

Trattasi di un trasmettitore ad arco realizzato dalla ditta G. Campostano, via Cesare Cantù 2, Milano, agli inizi del 1900 (vedi foto seguente).

La camera dell'arco, in primo piano le masse polari e al centro il catodo di carbone

Smontate le due masse polari, le stesse sono state riprese al tornio per riprodurre la forma e

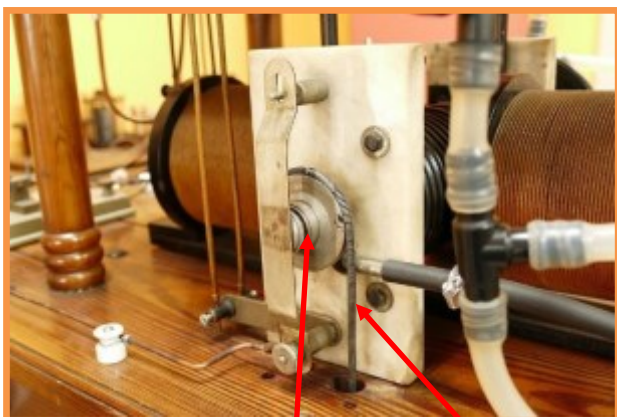


dimensione iniziale per poi essere ricollocate nella loro posizione iniziale.

Iniziamo il restauro con un componente molto importante, il motoriduttore, posizionato sotto il pianale del trasmettitore, che tramite una cinghia metallica mette in rotazione il catodo di carbone.

La rotazione, molto lenta e uniforme (circa 3 giri al minuto), è indispensabile per garantire un consumo uniforme del catodo e di conseguenza una corretta e continua accensione dell'arco.

Questo motorino è stato revisionato, oliato e ingrassato.



L'estremità del catodo e la cinghia di trasmissione

Altro particolare oggetto di restauro sono state le masse polari. Una di queste aveva l'estremità fusa per un precedente corto circuito. Tale incidente ne aveva rovinato la parte conica e forse modificato il suo corretto funzionamento.



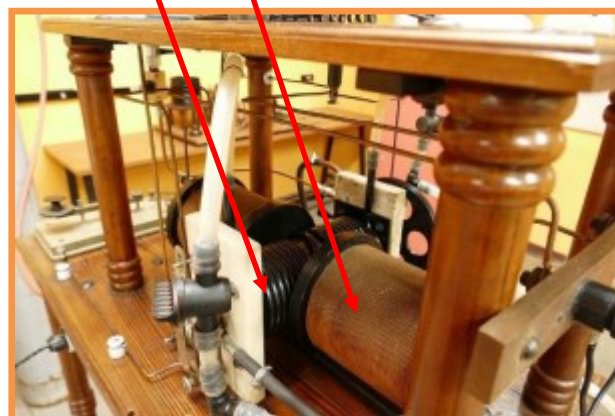
La camera dell'arco in primo piano le masse polari e al centro il catodo di carbone

Smontate le due masse polari le stesse sono state riprese al tornio per riprodurre la forma e dimensione iniziale per poi essere ricollocate nella loro posizione iniziale.



Le masse polari dopo l'operazione di tornitura

Nella fotografia qui sotto possiamo vedere i due grossi elettromagneti contenenti le masse polari e in posizione perpendicolare a essi il circuito di raffreddamento della camera, realizzato con un tubo metallico verniciato di nero.



In primo piano gli elettromagneti e in posizione perpendicolare il circuito di raffreddamento della camera

Il circuito di raffreddamento della camera dell'arco e il circuito di raffreddamento dell'anodo di rame sono stati collegati, utilizzando dei tubi di gomma moderni, a una pompa elettrica immersa in un contenitore di acqua demineralizzata.

Purtroppo un fenomeno di corrosione, non visibile all'esterno, nel tempo, ha forato il tubo metallico del circuito di raffreddamento della camera nel punto di contatto con la camera stessa. Di conseguenza, alla prima accensione della pompa, abbiamo avuto importanti perdite di acqua.

Con un po' di trepidazione abbiamo dovuto smontare completamente tutta la camera dell'arco. Con grande attenzione abbiamo tolto il tubo danneggiato, rivelatosi di piombo diametro 7 x 1 mm, oggi introvabile.



Circuito di raffreddamento camera arco

Il circuito di raffreddamento è stato rifatto al tornio utilizzando una matassa di tubo di rame diametro esterno 8 x 1 mm.

Durante l'operazione di avvolgimento ogni spira veniva saldata a stagno sulla camera dell'arco.

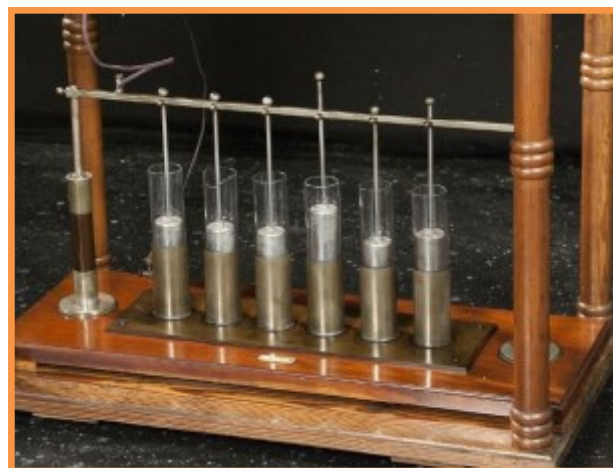
Alla fine tutto il circuito di raffreddamento della camera è stato riverniciato di nero, ripristinando esattamente tutto come in origine.



Il tubo di rame avvolto strettamente sulla camera dell'arco

Le bottiglie di Leida posizionate nella parte bassa del trasmettitore costituiscono la capacità del circuito oscillante C1 / L3.

Le stesse hanno subito un accurato restauro, in modo particolare sono state tutte smontate separando i contenitori di vetro dagli elettrodi di ottone nichelato.



Bottiglie di Leida a restauro terminato

Sugli elettrodi era presente una forte ossidazione che aveva provocato la rottura di un vetro e modificato la capacità totale.

Ad operazione terminata il parallelo di bottiglie di Leida fornisce una capacità di 380 pF, capacità che sarà incrementata per determinare la frequenza di oscillazione in onde medie, come vedremo più avanti.



*L'etichetta del produttore delle bottiglie di Leida
G. Campostano via Ratti, 2 Milano*

PRIMA ACCENSIONE DELL'ARCO

Terminate tutte le operazioni precedenti ora si deve iniziare ad accendere l'arco per produrre delle oscillazioni persistenti.

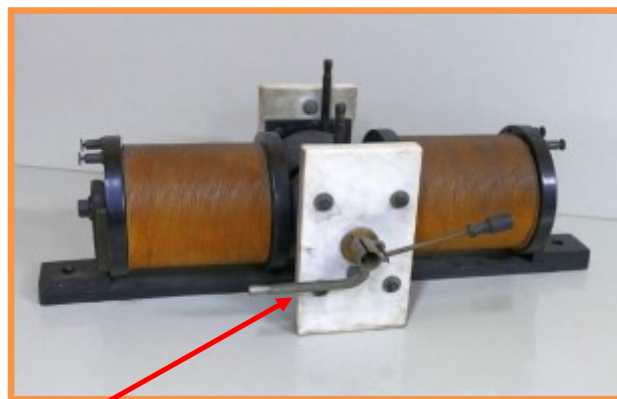
Questo trasmettitore in origine è stato concepito per funzionare con gas di città oppure con H_2 . Questi gas altamente energetici, ma anche fortemente detonanti, erano introdotti direttamente nella camera di combustione attraverso un tubicino vicino all'anodo di rame. I gas venivano poi estratti attraverso un tubicino uguale posto dal lato catodo di carbone.

Il gas di città non era in nostro possesso mentre, per quanto riguardava l'utilizzo dell'idrogeno, per una scelta di privilegiare il discorso sicurezza, lo abbiamo sempre scartato sin dall'inizio. A questo punto rimanevano disponibili una serie di gas e di combustibili i cui risultati sono descritti di seguito.

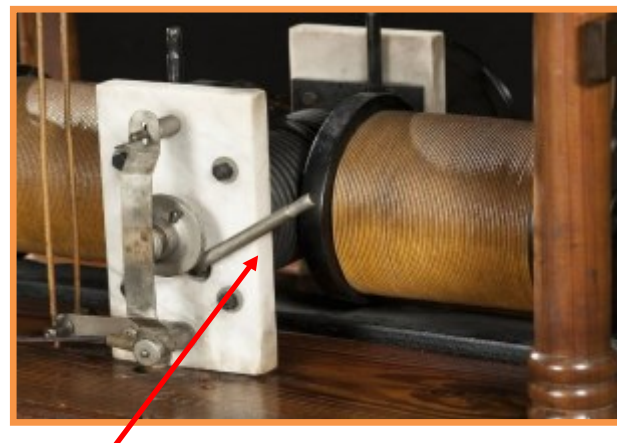
Inoltre, al fine di non introdurre troppe variabili, le prove che seguono sono state eseguite solo con il circuito oscillante composto da C1 e L3. Le bobine L4 e L5 saranno utilizzate solo dopo aver fatto funzionare l'arco.

Tutta la documentazione tecnica d'epoca in

nostro possesso purtroppo è scarsa di particolari. Gli articoli tecnici a disposizione sono tutti simili, errori compresi. Pertanto ogni componente, ogni parametro e condizione di lavoro deve essere ricercata sul campo con prove e riprove, senza perdersi d'animo. D'altronde, in modo particolare, il sistema Poulsen è stato utilizzato per pochi anni e poi sostituito dalle valvole termoioniche, da qui la scarsa documentazione.



Tubicino ingresso gas camera combustione



Tubicino di scarico gas camera combustione



*Grossa ruota usata per variare la posizione
dell'anodo rispetto alla posizione del catodo*

Per produrre e mantenere l'arco si deve operare nel modo seguente:

- Riempire la camera con il gas da provare
- accendere l'alimentatore in DC, regolare la tensione a 500 Volt
- operare sul potenziometro R1, regolarlo a 150 Ω
- ruotare in senso antiorario la grossa ruota per mezzo della quale si può variare la posizione dell'anodo di rame sino a quando viene a contatto con il catodo di carbone
- a contatto avvenuto, allontanare l'anodo di rame immediatamente, innescando così l'arco
- operare sul potenziometro R1, regolarlo a 250 Ω
- regolare la corrente d'arco a 15 Ampere

Il sistema inizia ad oscillare quando la lampadina I1 inizia a illuminarsi. Inoltre, al fine di visualizzare la frequenza di emissione e la sua forma d'onda, abbiamo utilizzato un moderno analizzatore di spettro. Vedi fotografia seguente.



Lampadina carico fittizio I1 e analizzatore di spettro

L'evidenza che il sistema oscilla è fornita dall'accensione della lampadina I1 con luminosità proporzionale alla energia dell'oscillatore.

Di seguito le prove eseguite:

Prova n° 1, è stata eseguita riempiendo la camera con Argon 99,9%, non abbiamo notato nessuna accensione dell'arco e nessuna parvenza di oscillazioni.

Prova n° 2, è stata eseguita riempiendo la camera con una miscela Argon 99,9% + 5% H₂. Il sistema inizia timidamente ad oscillare, l'arco è molto instabile e si spegne in continuazione.

Prova n° 3, è stata eseguita riempiendo la camera con propano C₃H₈. Il sistema inizia ad oscillare leggermente, l'arco è molto instabile e si spegne in continuazione.

Prova n° 4, è stata eseguita riempiendo la camera con butano C₄H₁₀. Rispetto alle prove precedenti non si notano sostanziali differenze.

Prova n° 5, è stata eseguita bonificando la camera con Argon 99,9% + 5% H₂ e poi introducendo circa 5% di butano C₄H₁₀. Rispetto alle prove precedenti il sistema inizia a oscillare a 1.200 kHz, ma non ancora nel modo corretto.

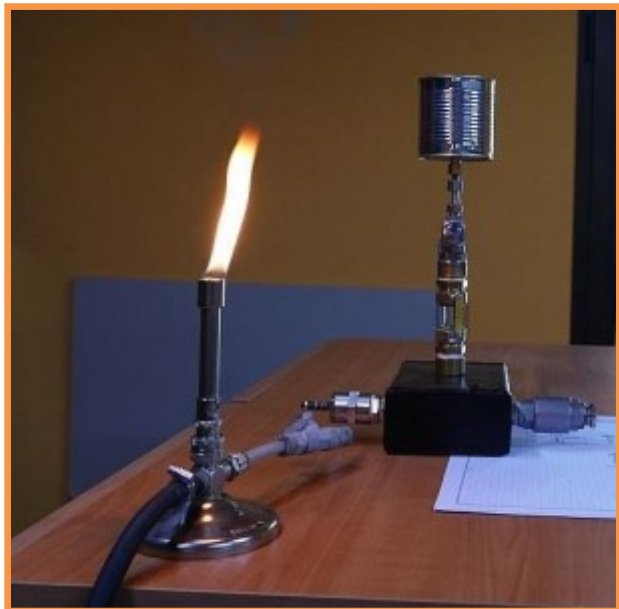
La fiducia di riuscire a far funzionare il trasmettitore diminuiva ad ogni prova negativa; in ogni caso abbiamo continuato le prove con perseveranza senza mai arretrare.



Alberto Erbea sconsolato per non riuscire a far oscillare il sistema

Inoltre i gas che fuoriuscivano dalla camera di combustione venivano eliminati con un bruciatore a gas Bunsen. Nel laboratorio dove

venivano eseguite le prove era sempre presente una certa quantità di gas maleodoranti che mettevano a dura prova il nostro sistema di respirazione.



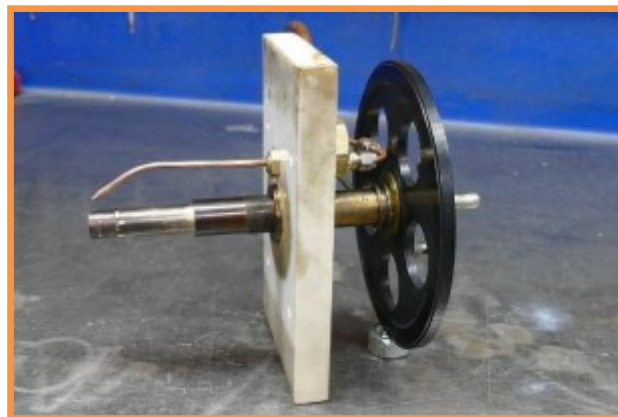
Il becco Bunsen in funzione

Dalla documentazione tecnica di cui abbiamo parlato poc'anzi abbiamo appreso che nella camera dell'arco, al posto di gas con forte potere calorifico, si poteva introdurre alcool fatto gocciolare sull'anodo di rame caldo.



Sistema per introdurre gas nel tubo più grosso e contemporaneamente alcool tramite il tubicino

Abbiamo verificato quanto si poteva fare al fine della modifica e abbiamo trovato una soluzione che permetteva di introdurre l'alcool senza fare nuovi fori nella camera dell'arco.



Tubicino per fare gocciolare l'alcool sull'anodo



Come sopra

Le pareti che chiudono la camera sono di marmo bianco, un nuovo foro poteva provocare una rottura del medesimo.



Il sistema rimontato sulla camera dell'arco, in alto il tubo per riempire di gas la camera, in basso il tubicino dell'alcool

Con apprensione inizia la **Prova n° 6**. La camera dell'arco viene bonificata con Argon 99,9% + 5% H₂.



Il serbatoio dell'alcool munito di rubinetto

Si accende l'arco con 500 Volt 30 Ampere.

Per poi aprire il rubinetto del serbatoio dell'alcool etilico denaturato 95%, l'alcool inizia a gocciolare sull'anodo.

Il sistema inizia ad oscillare a 1.200 kHz in modo abbastanza stabile; abbiamo trovato la soluzione?

Sono seguite diverse altre prove con vari tipi di alcool sempre fatti gocciolare sull'anodo di rame: alcool etilico denaturato 96,6%, alcool etilico denaturato 99,9%, alcool isopropilico 99,9%. Gli alcool colorati difettano per sporcare la camera dell'arco con depositi carboniosi che richiedono una continua pulizia degli elettrodi. L'alcool isopropilico 99,9% è risultato il migliore.

Analizzando i risultati ottenuti la fiducia di riuscire nell'impresa inizia a farsi concreta.

Ci poniamo diverse domande; ma in particolare una sembra molto corretta.

L'introduzione dell'alcool sull'anodo inizia a dare buoni risultati; ma perché far gocciolare l'alcool su un elettrodo raffreddato con acqua? Non sarebbe meglio far gocciolare l'alcool sul catodo di carbone che è senz'altro molto caldo?

Segue immediatamente un'apertura della camera e un'altra modifica; allunghiamo il tubicino fino a quando riesce a depositare l'alcool sul catodo di carbone.

Inoltre il catodo di carbone con un diametro di

25 mm è troppo grosso. Provvediamo a tornire una bussola di adattamento per poter usare un tondino di carbone diametro 12 mm. Un elettrodo di carbone più piccolo dovrebbe permettere di ottenere un arco importante anche con una corrente inferiore e di conseguenza con una tensione superiore. Tale condizione produce un arco con una potenza superiore.



Catodo di carbone di diametro ridotto

Completate tutte le modifiche diamo corso alla **Prova n° 7**.

La camera dell'arco viene sempre bonificata con Argon 99,9% + 5% H₂ all'inizio e alla fine delle trasmissioni.

Successivamente si accende l'arco con 500 Volt e si riesce a stabilizzare la corrente a 15 Ampere.

Il catodo di carbone deve sempre essere in rotazione con una velocità costante in modo da garantire un consumo uniforme del catodo stesso.

Il consumo uniforme garantisce la stabilità dell'arco.

Successivamente si apre il rubinetto del serbatoio dell'alcool isopropilico 99,9%; è sufficiente una piccolissima quantità di alcool, circa 1 goccia al minuto, l'alcool inizia a gocciolare sul catodo di carbone e a evaporare.

Il sistema inizia ad oscillare a 1.200 kHz in modo molto stabile, costante nel tempo e con

poco rumore; **finalmente abbiamo trovato il modo di operare.**

Dopo circa 40 minuti di funzionamento spegniamo il trasmettitore per visionare la camera dell'arco.

La stessa si presenta con una nebbiolina e con una condensa sulle pareti; questo significa che le pareti della camera sono troppo fredde.

Si deve ridurre la quantità dell'acqua di raffreddamento che circola nella serpentina di raffreddamento, vedi fotografie di pagina 21.

Tutte le prove successive sono state effettuate utilizzando questi parametri, ottenendo sempre buoni risultati.

Altro parametro importante, a conferma dell'ottimizzazione del sistema, è la riduzione della quantità di prodotti gassosi espulsi dal sistema ed eliminati con il bruciatore Bunsen.



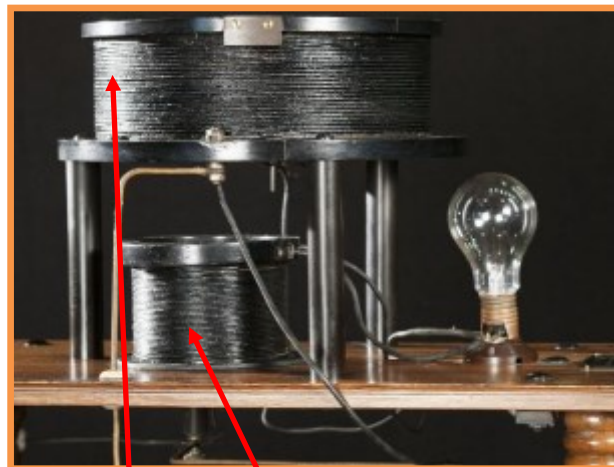
Il sistema inizia ad oscillare a 1.200 kHz, la lampadina I1 con funzione di carico fittizio si accende vigorosamente.

Ora, con la certezza che il circuito composto da C1 e L3 oscilla in modo corretto, dobbiamo pensare alle bobine del circuito di antenna L4 e L5.

In realtà L4 nel corso degli anni è andata persa; se vogliamo proseguire con le prove dobbiamo pensare di riprodurla. Nessuna documentazione tecnica è stata trovata circa le dimensioni della medesima.

Partendo dalla bobina L3 ancora disponibile ipotizziamo la costruzione di L4 di diametro

più grande in modo da infilarla sopra L3 per ottenere un buon accoppiamento.



Bobina L3 e bobina L5

Allo scopo produciamo un cilindro di cartone spesso avente diametro 320 mm, sullo stesso avvolgiamo 24 spire parallele di filo di rame con sezione 1,5 mm². Al fine di poter disporre dell'induttanza migliore, durante l'avvolgimento della bobina lasciamo delle prese intermedie.

Le ultime due prese sono utilizzate per collegare la lampadina I2 che si rivelerà molto importante per capire il corretto modo di funzionamento dell'arco.



Bobina L4 riprodotta

La bobina L5 è invece disponibile, si deve solamente pensare dove posizzarla e come collegarla. Per la posizione ci viene in aiuto l'unico foro presente sul pianale, quel foro determina inequivocabilmente la sua

posizione, sotto alla bobina L3 leggermente disassata.



Bobina L4 infilata sopra la bobina L3

Le prese sul suo corpo saranno utilizzate al meglio dei risultati.



Bobina L5 vista dal lato prese

E ora, prima di andare in trasmissione, dobbiamo ancora pensare ad alcune cose.

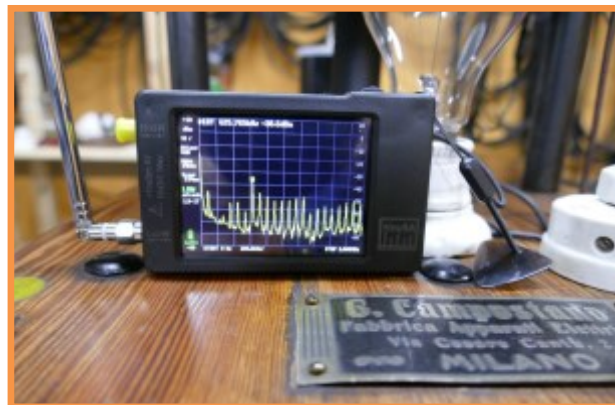
Un'antenna long wire con lunghezza 25 metri viene collegata alla presa di antenna.

Il commutatore S2 viene posizionato per il funzionamento in fonia ma il microfono, al fine di non introdurre troppe variabili, viene cortocircuitato. Quindi la bobina di antenna L4 è collegata direttamente a terra come se la resistenza del microfono sotto l'influenza di forti vibrazioni fosse vicina a 0 Ω .

Utilizziamo i parametri e la metodica come alla **Prova n° 7**.

Finalmente, dopo tanto tribolare, l'analizzatore di spettro visualizza lo spettro

dell'emissione, privo di rumore, con la fondamentale a 625 kHz e una innumerevole quantità di frequenze armoniche; ma così era in quegli anni!!



Oscillogramma con fondamentale a 625 kHz

Ora possiamo provare il circuito in trasmissione radiotelegrafica.

Il commutatore S2 viene posizionato per il funzionamento in telegrafia.

Ora il circuito di antenna è composto da L4 e L5 collegate in serie.

Il tasto telegrafico, del tipo molto pesante e con grossi contatti, viene collegato ai morsetti relativi.

Anche per la trasmissione in telegrafia utilizziamo i parametri e la metodica come alla Prova n° 7.

Accendiamo il trasmettitore; la frequenza emessa con tasto alzato è pari a 535 kHz.

Abbassiamo il tasto; la bobina L5 viene cortocircuitata e la frequenza di trasmissione si alza a 625 kHz.

Si tratta quindi di una trasmissione radiotelegrafica che avviene per spostamento di frequenza. La frequenza di trasmissione con tasto alzato è detta di riposo e viene determinata dal numero di spire della bobina L5 inserite tramite l'apposito spinotto.

La frequenza di trasmissione con tasto abbassato è detta frequenza di lavoro e su questa frequenza si deve accordare il ricevitore.

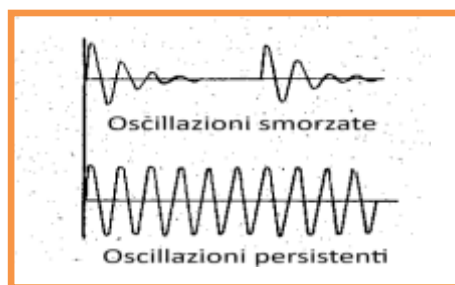


Tasto telegrafico del tipo molto pesante

Sostanzialmente, a differenza delle trasmissioni radiotelegrafiche con **oscillazioni smorzate (trasmettitori a scintilla)**, in cui si produce un treno di onde radio ogni volta che si abbassa il tasto telegrafico, con l'arco Poulsen non è possibile spegnere completamente l'arco e poi riaccenderlo, perché potrebbe difficilmente riprendere con regolarità il proprio regime dopo ogni interruzione.

Per questo motivo l'arco rimane sempre acceso, da qui il nome “**oscillazioni persistenti**”.

La manipolazione radiotelegrafica viene effettuata sul circuito di antenna mettendo in

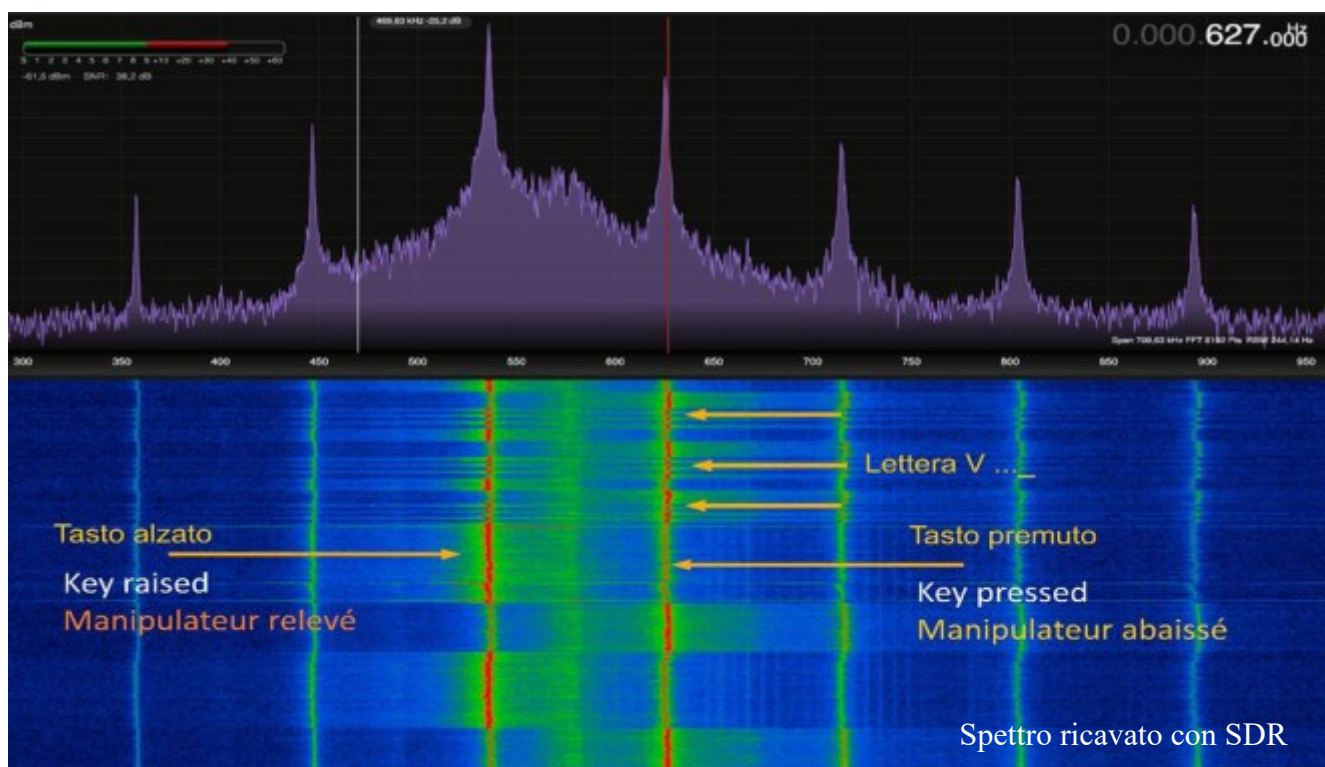


corto circuito alcune spire dell'induttanza stessa e la trasmissione avviene per spostamento della frequenza.

Nel circuito di antenna abbiamo inserito una piccola lampadina, nello schema generale indicata I2. Tale lampadina, collegata su poche spire della bobina L4, si è rivelata utilissima. Interpretando il modo di accendersi e l'intensità luminosa prodotta si poteva capire quando il sistema era correttamente in trasmissione.



Lampadina I2



IL RICEVITORE



Dopo aver visualizzato con strumenti moderni il corretto funzionamento del trasmettitore, abbiamo pensato di comporre un ricevitore con il quale rivelare e ascoltare in cuffia i segnali telegrafici trasmessi.

Abbiamo realizzato il ricevitore che si può vedere di seguito, utilizzando componenti d'epoca e producendo quelli mancanti. La disposizione dei componenti è stata scelta per riprodurre il ricevitore usato da Valdemar Poulsen nel suo laboratorio e visibile a pag. 5. Lo schema è quello classico di un ricevitore dei primi anni del 1900 con detector elettrolitico.

Il circuito di antenna è del tipo con induttanza e capacità in parallelo. In particolare la bobina di antenna è stata realizzata avvolgendo su un supporto di cartone diametro 160 mm n° 31 spire di filo di rame con sezione di 1,5 mm². Il condensatore variabile è del tipo in aria avente una capacità di 650 pF.



Il circuito d'antenna induttanza capacità in parallelo

La combinazione L C permette di sintonizzare il ricevitore a 625 kHz con il condensatore variabile a metà corsa.



Il detector elettrolitico

PROVE DI RICEZIONE DEI SEGNALI RADIOTELEGRAFICI

Nella fotografia del ricevitore alla pagina precedente, sul lato destro, è presente un misterioso motorino elettrico di cui non abbiamo fornito una spiegazione. Quanto indicato di seguito aiuterà a capire il suo funzionamento.

Per il buon funzionamento del ricevitore abbiamo realizzato una antenna long wire di 50 metri di lunghezza.

Collegati antenna e terra al ricevitore descritto nella pagina precedente (ma senza quel misterioso motorino) ci siamo messi all'ascolto dei segnali radiotelegrafici emessi dal trasmettitore ad arco Poulsen. Nonostante il trasmettitore fosse correttamente in funzione e la manipolazione telegrafica fosse eseguita in modo corretto, nell'auricolare non eravamo capaci di ascoltare nessun segnale radiotelegrafico. A dire il vero, ascoltavamo solo due piccole vibrazioni nell'auricolare all'inizio e alla fine della manipolazione telegrafica.

La documentazione d'epoca che abbiamo trovato ci è stata di grande aiuto per capire e risolvere questo problema.

Un segnale radiotelegrafico trasmesso con

un'onda persistente non produce nel ricevitore a cristallo una corrente variabile a frequenza acustica ma produce una corrente continua. Per questo motivo il ricevitore non è in grado di far ascoltare il segnale telegrafico.

Il collaboratore di Poulsen, certo Pedersen, nel 1908, al fine di risolvere questo problema, realizza un primo dispositivo chiamato TIKKER. Si tratta di un interruttore rotante composto da una ruota dentata e un contatto strisciante, capace di interrompere il segnale prima della sua rivelazione, a una frequenza di circa 500 interruzioni al secondo.

Più numerose saranno le interruzioni, tanto più acuta sarà la nota che si riesce a ottenere.

Grazie a questo dispositivo, qui sotto in fotografia, nell'auricolare si produceva un ronzio in corrispondenza della linea e dei punti del codice Morse.

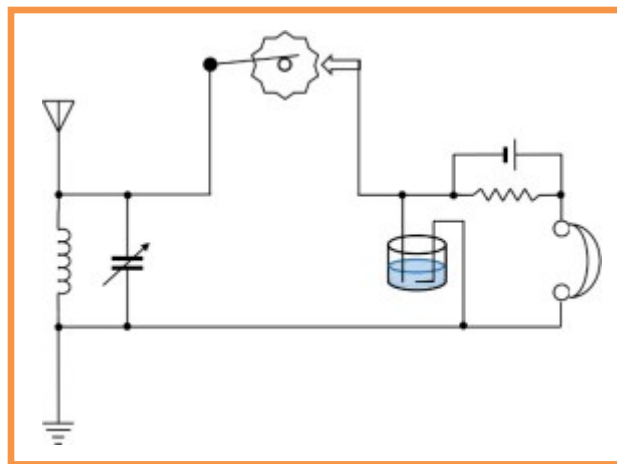
Il misterioso motorino elettrico è la riproduzione perfettamente funzionante di un TIKKER, oggetto oggi introvabile.

Ora, con l'utilizzo del TIKKER applicato al nostro ricevitore a cristallo, la ricezione radiotelegrafica del trasmettitore ad arco Poulsen avviene regolarmente senza alcuna difficoltà.



Il misterioso motorino elettrico "TIKKER", si nota la ruota dentata e il contatto strisciante

Nei ricevitori attuali il TIKKER non è più in uso.



Schema del ricevitore con il TIKKER prima del detector elettrolitico

Le trasmissioni telegrafiche CW "Continuous Wave" sono ricevute utilizzando un oscillatore di battimento denominato BFO "Beat Frequency Oscillator".

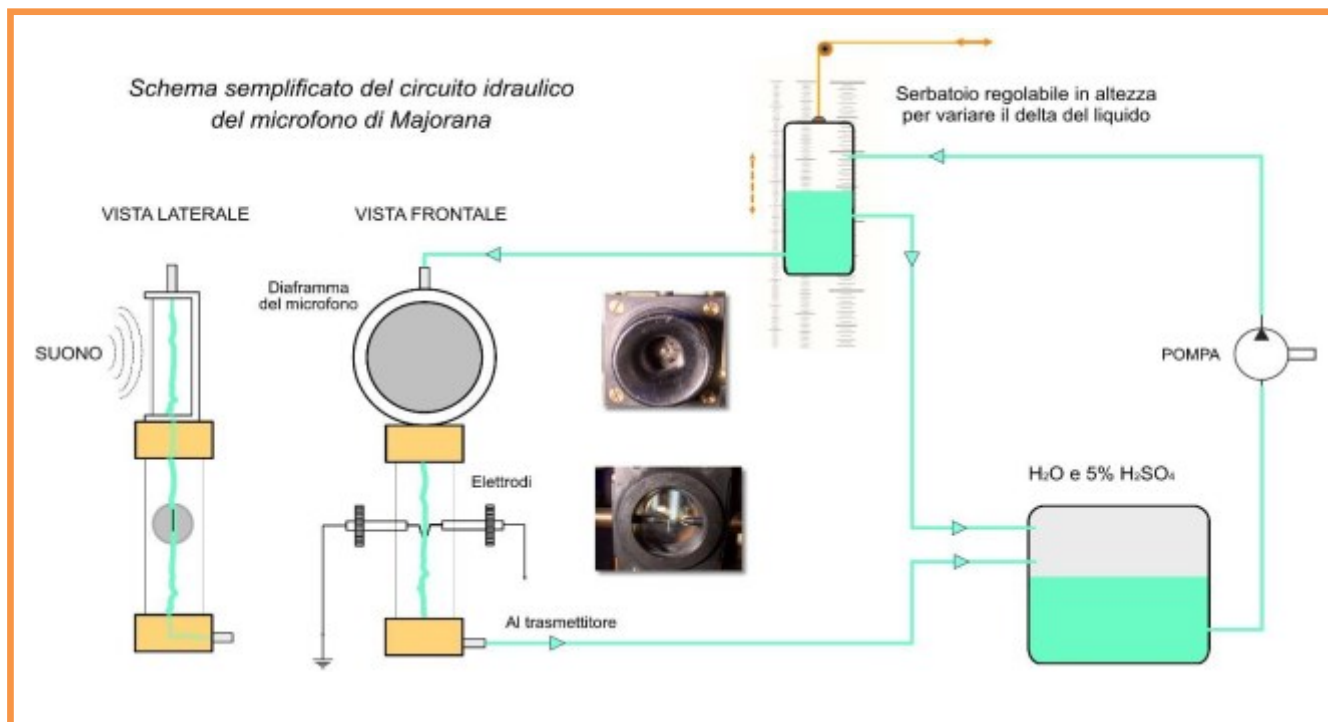
PROVE DI RICEZIONE DEI SEGNALI RADIOTELEFONICI, IL CIRCUITO IDRAULICO

Il microfono ad acqua di Quirino Majorana è stato completamente riparato come descritto nelle pagine precedenti.

Il passo successivo è stato quello di realizzare un circuito idraulico, capace di fare circolare nel microfono una soluzione al 5% di acido solforico H_2SO_4 in acqua.

Il circuito è stato realizzato interamente con tubo in gomma trasparente, giunti, rubinetti in PVC e contenitori in polietilene.

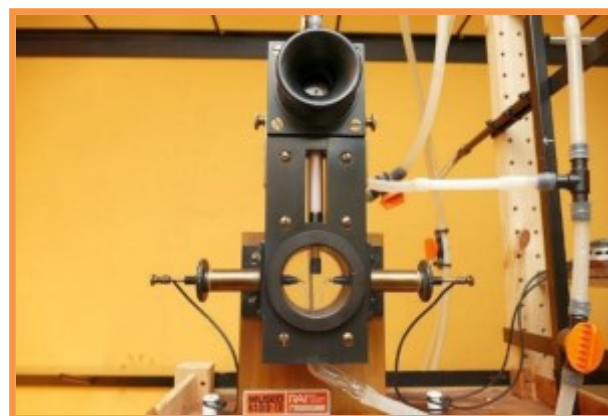




Schema circuito idraulico

La pompa che garantiva il riciclo della soluzione acida è stata scelta tra quelle che avevano tutti i componenti interni in acciaio inox e in materiale plastico. Un contenitore, quello più grande, era riempito con la soluzione acida, un altro contenitore più piccolo, montato su un'asta regolabile in altezza, si è rivelato utilissimo per regolare il delta della soluzione acida e assicurare una pressione molto bassa e costante.

Il microfono collegato al circuito idraulico con tutti i tubi e raccordi assomigliava piuttosto a un paziente intubato per una operazione chirurgica!



PROVE DI RICEZIONE DEI SEGNALI RADIOTELEFONICI. IL MICROFONO AD ACQUA DI QUIRINO MAJORANA CHE MODULA IL TRASMETTITORE POUlsen

Il circuito idraulico ora è pronto e funziona correttamente.

Accorgimento molto importante: eliminare tutte le eventuali bolle d'aria presenti nella camera del microfono. In presenza della benché minima presenza di aria il microfono non funziona. Fare molta attenzione agli spruzzi di acqua acidulata, è sempre acido solforico. Mettiamo in funzione il trasmettitore Poulsen utilizzando i parametri e la metodica come alla Prova n° 7.

Tramite il deviatore S2 dello schema di pagina 11 inseriamo il microfono ad acqua nel circuito di antenna tra la bobina L4 e la terra.

Il ricevitore che useremo è sempre quello descritto a pagina 29 ma con una eccezione. Per i segnali trasmessi in radiotelegrafia il TIKKER non deve essere utilizzato, per questo motivo il contatto strisciante verrà messo in cortocircuito e il segnale in antenna verrà quindi inviato direttamente al detector elettrolitico.

Le prime prove di funzionamento sono state effettuate con un generatore di segnali di BF collegato a un piccolo altoparlante posizionato di fronte al microfono.

E qui iniziano i dolori!!!

Diversi sono i parametri da verificare:

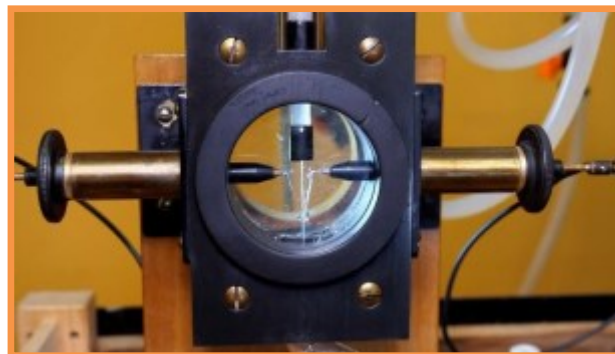
- il posizionamento delle lamelle (distanza e forma)
- il diametro del foro dell'ugello
- il posizionamento in altezza dell'ugello
- la pressione della vena liquida in entrata nella camera del microfono

la scelta del punto di lavoro della vena liquida (ove la vena liquida inizia a contrarsi e rompersi in gocce)

Ad ogni variazione di uno di questi parametri si doveva ricominciare dall'inizio, riverificando tutti gli altri.



Posizionamento delle lamelle in rapporto alla vena liquida e posizionamento dell'ugello



Vedi foto precedente

In modo particolare è stato critico trovare il corretto diametro del foro dell'ugello, ottenendo i migliori risultati con un foro diametro 0,50 mm. Le difficoltà non sono mancate nel riprodurre un foro con una superficie liscia, priva di irregolarità, pena una deformazione del getto di acqua in uscita.

Durante ogni prova si facevano piccoli passi avanti acquisendo ulteriori conoscenze del sistema e migliorando continuamente i risultati ottenuti.

Quando abbiamo avuto la certezza che il sistema iniziava a funzionare abbiamo collegato il piccolo altoparlante, posizionato di fronte al microfono, a un sistema di riproduzione di brani musicali.

A poco a poco, migliorando ancora i parametri dell'intero sistema, finalmente nella cuffia del ricevitore siamo stati in grado di ascoltare l'inno d'Italia e brani d'opera.



Il piccolo altoparlante, posizionato di fronte al microfono

Finalmente, nonostante aver passato momenti di grande sconforto, dopo circa 115 anni eravamo riusciti a fare ancora funzionare l'accoppiata microfono di Quirino Majorana e trasmettitore ad arco di Valdemar Poulsen.

Ora io vi chiedo scusa per avervi tediato così a lungo e passerei alle conclusioni finali.

CONCLUSIONI

Per fare funzionare questi trasmettitori si doveva avere una certa propensione per le attività pericolose e la pazienza di un santo.

Il piccolo altoparlante, posizionato di fronte al microfono

Finalmente, nonostante aver passato momenti di grande sconforto, dopo circa 115 anni eravamo riusciti a fare ancora funzionare l'accoppiata microfono di Quirino Majorana e trasmettitore ad arco di Valdemar Poulsen.

In realtà la fedeltà della riproduzione sonora è piuttosto carente, in modo particolare alle frequenze acute.

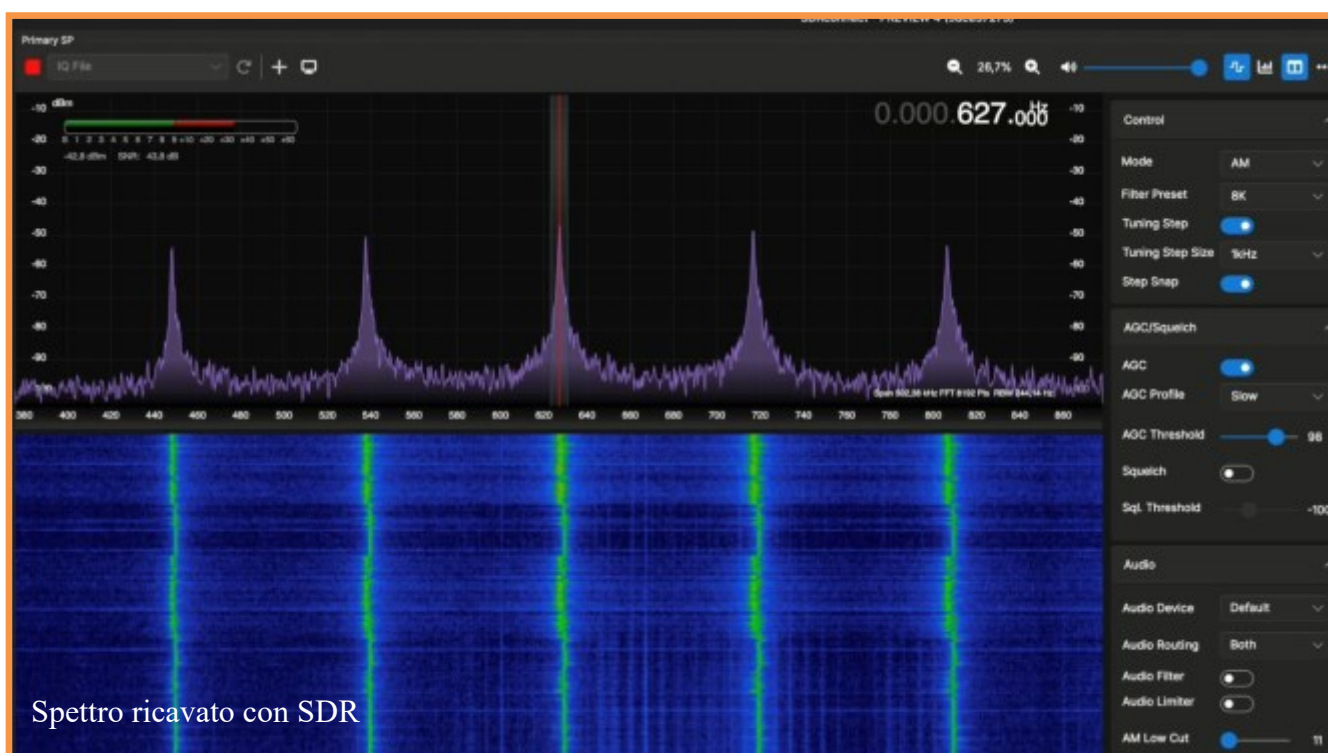
Dobbiamo però riconoscere che questi sistemi sono stati i primissimi strumenti di riproduzione e trasmissione di onde radio

modulate che hanno aperto la strada agli studi successivi sino ad arrivare ai giorni nostri.

Guardando i trasmettitori in uso oggi non mancano profonde riflessioni, sia per le soluzioni circuitali della tecnologia odierna, ma soprattutto per aver raggiunto elevati standard di sicurezza. L'operatore addetto all'utilizzo di questi trasmettitori doveva stare molto accorto in quanto privo delle più elementari condizioni antinfortunistiche.

L'operatore doveva limitarsi a parlare nel microfono ma doveva essere accorto e tenere entrambe le mani dietro alla schiena. Sui serrafili qua e là erano presenti circa 500 Volt in DC (tensione letale). L'operatore non doveva mai appoggiare le mani sugli elettrodi in quanto anche qui erano presenti 500 Volt in DC, ma non solo, gli elettrodi erano caldi e possibili bruciature erano sempre possibili.

Inoltre l'operatore non doveva avvicinarsi troppo alla valvola di sicurezza, pena trovarsi un effluvio di alcool caldo sul viso. Come pure da evitare era il riempimento del serbatoio dell'alcool con il trasmettitore in funzione, o l'apertura della camera prima del suo completo raffreddamento, pena



trasformare il trasmettitore in un lanciafiamme.

La tecnologia dei trasmettitori ad arco fece un certo numero di primi martiri, e senza dubbio l'elenco avrebbe continuato a crescere se non fosse diventata matura la tecnologia dei tubi a vuoto come oscillatori RF e amplificatori di potenza nei successivi anni 20.

Questo restauro storico conservativo ha significato una attività lavorativa della durata di tre anni del nostro tempo libero. Non ho affrontato questa attività da solo ma sono stato di supporto al socio A.I.R.E n° 2090 Alberto Erbea. Alberto ha impiegato la sua pazienza, la sua competenza e la sua perseveranza per arrivare alla fine di quanto ci eravamo prefissati.

Nel mese di luglio abbiamo voluto presentare il nostro lavoro ai soci A.I.R.E. interessati. Circa 30 soci e simpatizzanti, provenienti dal Piemonte, Liguria, Lombardia ed Emilia-Romagna, sono arrivati in Valsesia per assistere alla giornata di prove programmate e per fare conoscenza di questi atavici mezzi di telecomunicazione.

Al termine della rievocazione i soci A.I.R.E. si sono ritrovati in un ristorante locale per assaggiare i tipici prodotti locali. In questa occasione il Presidente A.I.R.E. Andrea Ferrero ha consegnato ad Alberto Erbea e Alberto Genova un attestato di merito, molto gradito e di cui ringraziamo.



Nel mese di ottobre 2025, terminate tutte le attività di restauro e presentazione ai soci A.I.R.E., è arrivata l'ora di ritornare il microfono Majorana e il trasmettitore Poulsen al suo legittimo proprietario, il Museo della Radio e della Televisione RAI di Torino.

Ora questi due oggetti riposano al museo, posizionati in una vetrina apposita, circondati da curiosità e rispetto quale monumento alla capacità, alla perseveranza e all'ingegno dei suoi inventori.

ANEDDOTI

Per quanto riguarda l'utilizzo dell'alcool in questo sistema di trasmissione, sembra che agli inizi del secolo scorso, sulle navi dotate di trasmettitore ad arco Poulsen, l'alcool spariva sistematicamente. Con dispiacere dei marinai l'alcool fu sostituito con il kerosene!

Si ringraziano:

- La Direzione del Centro di Produzione RAI di Torino e il Dott. Alberto Allegranza, Direttore del Museo, che ci hanno messo a disposizione l'apparato per un restauro storico conservativo
- Andrea Ferrero, Presidente A.I.R.E., per la fiducia dimostrata
- Claudio Girivetto per la sua attività di fotografo ufficiale e cameramen
- Tutti i soci A.I.R.E. che hanno assistito alla giornata dedicata a questa rievocazione

Bibliografia:

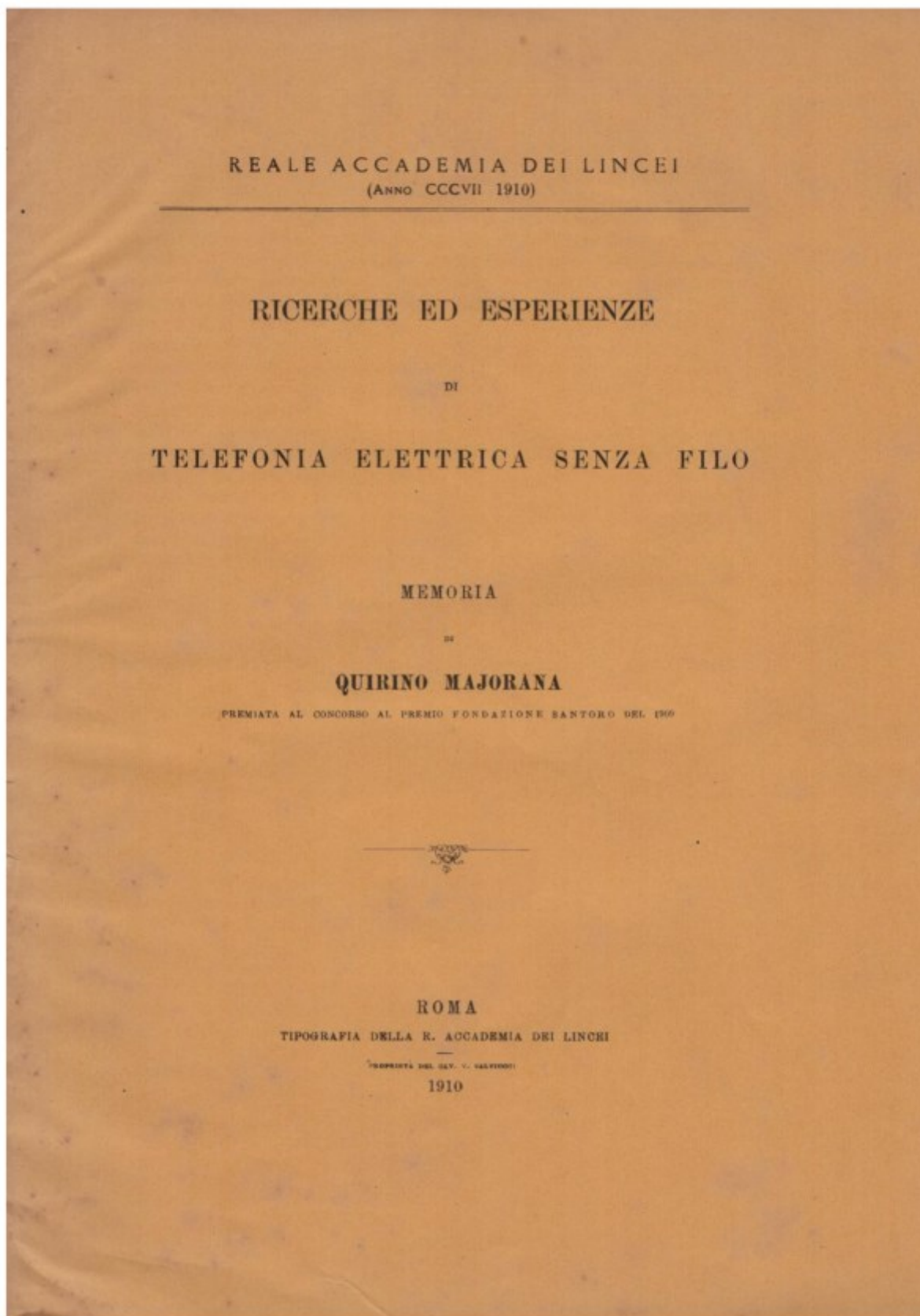
- Ricerche ed Esperienze di Telefonia Elettrica Senza Filo Memoria di Quirino Majorana 1910
- Domenico Ravalico RADIOTELEFONIA 1920
- Harmsworth' Wireless Encyclopedia 1923
- Telegraphie Sans Fil 1917
- Ernesto Montù La Radio Per Tutti 1924
- Manuale Elementare di Radiotecnica 1927

Alberto Genova, II VXA socio AIRE 0171

Alberto Erbea, socio AIRE 2090

<https://piemonte.aireradio.org/rievocazione-storica-majorana.html>

Appendice



***Il trattato di Quirino Majorana
Telefonia Elettrica senza filo ROMA 1910***

Elettricità applicata alla Medicina

(Premiata Fabbrica Apparatì Elettrici)
G. CAMPOSTANO
MILANO
2 - Via Cesare Cantù - 2

Milano, 3 Settembre 1913

La merce viaggia a rischio e pericolo del Committente. - Non si accettano imballaggi di ritorno.
Spedito oggi a corse
Sia vostro riscontro che non si accettano reclami otto giorni dopo ricevuto la merce. - Voglia aggradire i nostri più distinti saluti

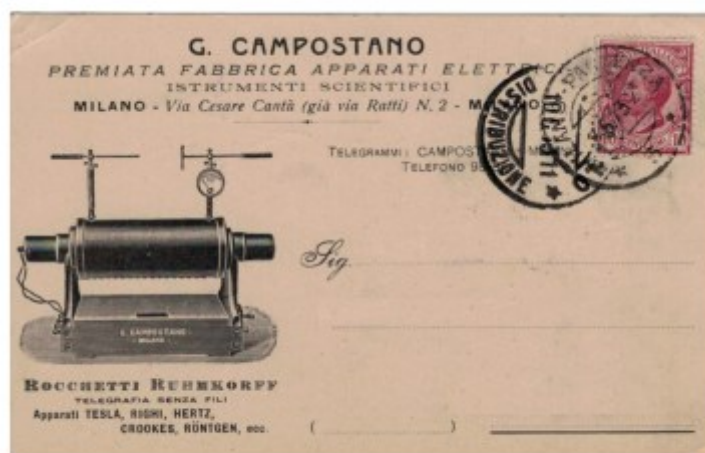
CODICE UFFICIALE A. B. C. D. E. F. G. H. I. J. K. L. M. N. O. P. Q. R. S. T. U. V. W. X. Y. Z. 0. 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.

PAGAMENTO AL NOSTRO DOMICILIO.

N.º	2	Condensatori per stazione ricevente, isolamento a fogli ebanite 2/10 ed a lamine ebanite (prezzo ridotto)			
			L. 180,-	L. 360,-	
"	2	Commutatori di precisione	"	32,-	64,-
"	1	Rocchetto a 2 Trembleurs	"	29,50	
"	1	Reostato a cremagliera, filo 4/10	"	28,-	
"	2	Spirali autoinduzione	"	14,50	29,-
"	1	Detector per cristalli (senza cristalli)	"	35,-	
"	1	Bottone sciolto di contatto	"	4,50	
"	6	Pile a secco	"	2,90	17,40
"	1	Blocco di cristalli di carborundum per detector	"	14,-	
"	1	Pressa ebanite per telefono	"	5,25	
		NETTISSIMO		L. 598,65	
		N.º 1 Cassa ed Imballaggio		8,50	
		TOTALE		L. 598,15	
		2 Serrafili per condensatori dati in più gratis			

f. G. Campostano

Carta intestata G. Campostano 1913



Cartolina G. Campostano



Busta per corrispondenza
G. Campostano



Soci A.I.R.E. e simpatizzanti

