

# TESINA SULLA RADIO



## Sommario

<b>Cenni storici</b> .....	Errore. Il segnalibro non è definito.
• Biografia di Guglielmo Marconi.....	3
• Evoluzione dell'invenzione di Marconi.....	4
<b>Comunicazione tramite onde radio</b> .....	<b>5</b>
• Onde elettromagnetiche e onde radio.....	5
<b>La prima radio: la radio a galena</b> .....	<b>7</b>
• Antenne .....	7
• Sintonia .....	10
○ Circuiti risonanti serie.....	10
○ Circuiti risonanti parallelo (o antirisonanti).....	11
▪ Accorgimenti per aumentare la selettività .....	14
• Cenni sulle modulazioni.....	15
○ Modulazione d'ampiezza (AM).....	15
○ Modulazione di Frequenza (FM) .....	17
▪ Trasmissioni radio stereofoniche e informazioni RDS .....	18
• Rivelazione.....	19
○ Il diodo .....	19
○ Il rivelatore a galena.....	20
• Schema elettrico .....	21
• Dimensionamento dei componenti.....	21
• Costruzione del ricevitore .....	23

## Biografia di Guglielmo Marconi

Nacque a Bologna il 25 aprile 1874. Figlio di Giuseppe Marconi, un proprietario terriero vissuto nelle campagne di Pontecchio (BO). Vedovo con un figlio conobbe una giovane irlandese Annie Jameson, nipote del fondatore della storica distilleria Jameson & Sons in visita in Italia per studiare bel canto. Se ne innamorò e la sposò il 16 aprile 1864 a Boulogne-sur-Mer (FRANCIA). Nel 1909 Guglielmo Marconi fu il primo Italiano a vincere il Premio Nobel per la Fisica: anche se ottenuto in giovane età – Marconi aveva 35 anni – quel premio giunse al termine di un programma straordinariamente intenso di lavoro durato poco meno di 15 anni. Tutto era iniziato nel laboratorio della casa paterna – Villa Griffone, situata sulle colline bolognesi – con i primi esperimenti di telegrafia senza fili, ma poi teatro del periodo pionieristico delle radiocomunicazioni furono le coste Atlantiche: la Gran Bretagna fu la seconda casa dell'inventore ma fu la prima dell'imprenditore Marconi, l'Irlanda – terra da cui proveniva la madre – ospitò importanti stazioni per i primi collegamenti transatlantici, il Canada e gli Stati Uniti videro trionfare il giovane visionario italiano che tra il 1901 e il 1903 riuscì – tra polemiche, scetticismo e grande meraviglia – a ricevere i primi segnali radiotelegrafici che avevano superato quell'enorme ostacolo naturale che era appunto l'Oceano Atlantico.

Una tappa fondamentale fu l'inaugurazione del primo regolare servizio pubblico di radiotelegrafia attraverso l'Atlantico, nell'ottobre del 1907. Il radio soccorso diede eccezionale prova in occasione del salvataggio dei passeggeri a bordo del transatlantico Republic nel gennaio 1909, nel quale grandi meriti ebbe l'operatore radiotelegrafico Binns che lavorava per la Compagnia Marconi. E proprio in quell'anno iniziato con i clamori di quel salvataggio Marconi vinse – condividendolo con lo scienziato tedesco Karl Ferdinand Braun – il Nobel per la Fisica “a riconoscimento del contributo dato allo sviluppo della telegrafia senza fili”.

La carriera di Marconi durò ancora a lungo e in decine di occasioni egli fu celebrato in quanto simbolo vivente delle radiocomunicazioni, ma non vi è dubbio che il conferimento del Premio Nobel fu un momento fondamentale per un personaggio che aveva avviato, a soli 21 anni, una vera e propria rivoluzione nelle telecomunicazioni e che dedicò l'intera carriera agli sviluppi della Radio combinando doti scientifiche e qualità imprenditoriali, grandi intuizioni e straordinaria determinazione.

Queste caratteristiche costituiscono oggi, a un secolo di distanza, un esempio di grande positività in tempi di serrata competizione globale. E' questo un elemento che rende il personaggio Marconi assai interessante in un'epoca contrassegnata da tecnologie riconducibili agli sviluppi della sua invenzione. L'attualità del Marconi inventore e imprenditore e la grande importanza delle radiocomunicazioni nella nostra vita quotidiana costituiscono motivi fondamentali per la preparazione di un programma di iniziative che culmini con l'appuntamento del centenario del conferimento a Marconi del Premio Nobel che cadrà nel dicembre 2009. Il programma che la Fondazione Marconi sta mettendo a punto rappresenta una grande occasione per l'Italia e le sue istituzioni scientifiche, per il territorio di origine di Guglielmo Marconi e naturalmente si avvarrà di prestigiose collaborazioni internazionali per celebrare un personaggio cosmopolita la cui invenzione e i relativi sviluppi di essa – vale la pena sottolineare – rappresentano un potente strumento a disposizione dell'umanità.

## Evoluzione dell'invenzione di Marconi

Guglielmo Marconi aveva fatto i primi esperimenti di trasmissione a distanza nel 1895 e ottenuto un collegamento fra l'Inghilterra e la Francia nel 1897. Nel 1901 realizzò la prima trasmissione transoceanica, che apriva la via alle comunicazioni su scala "globale"; si trattava di telegrafo in codice "digitale" (alfabeto Morse) – e non era broadcasting, comunicazione diffusa: né Marconi né altri in quel periodo avevano immaginato che potesse nascere qualcosa come la radio.

Le "radiodiffusioni" sono un concetto completamente diverso dal "telegrafo senza fili" e si svilupparono vent'anni più tardi: la prima emittente radiofonica nacque nel 1920 negli Stati Uniti mentre negli anni seguenti la radio si diffuse in Europa (in Italia nel 1924) diventando così un mezzo di comunicazione di massa: il grande pubblico si forniva di apparecchi riceventi con cui seguiva i programmi radiofonici trasmessi dalle poche emittenti allora esistenti. E' evidente quindi che a pochi soggetti attivi corrisponde una massa assai numerosa di ascoltatori passivi.

In America, e soprattutto negli Stati Uniti si svilupparono presto un gran numero di emittenti che si finanziavano con gli introiti delle pubblicità. In Europa invece vigeva il monopolio pubblico: una compagnia statale era addetta alla fornitura del servizio radiofonico e si finanziava grazie al contributo dei cittadini riscosso sotto forma di "abbonamento" (analogamente all'attuale canone RAI). In Italia durante il periodo fascista il servizio era affidato alla URI (Unione Radiofonica Italiana) che iniziò ufficialmente la sua attività nell'ottobre 1924.

La radio svolse un importantissimo ruolo di informazione di massa durante la seconda guerra mondiale soprattutto in Italia dove all'inizio della guerra erano diffusi poco più di un milione di apparecchi: nonostante la ridotta diffusione di apparecchi radiofonici il popolo si sentiva direttamente partecipe di eventi che solo pochi potevano vedere di persona. Negli Stati Uniti il presidente Roosevelt pronunciò molti suoi discorsi alla radio in modo da assicurarsi una campagna politica capillare; in Italia il 9 maggio 1936 Benito Mussolini pronunciava il "discorso di proclamazione dell'Impero fascista" che passò alla storia come più alto successo propagandistico del fascismo: per l'occasione furono posti degli altoparlanti nelle più grandi piazze d'Italia in modo da permettere anche a chi non avesse apparecchi radiofonici di ascoltare il discorso.

Oltre al ruolo di informazione e politico la radio diventò la colonna sonora di milioni di persone con la musica, i varietà e le trasmissioni radiofoniche di intrattenimento.

Nel corso degli anni trenta fu messa a punto la tecnologia della televisione e cominciò la diffusione dei primi apparecchi televisivi. Nel 1938 la seconda guerra mondiale era ormai alle porte quando in Italia furono realizzate le prime trasmissioni televisive sperimentali; lo sviluppo di questo nuovo mezzo di comunicazione si arrestò temporaneamente durante il conflitto mentre la radio ebbe un boom inaspettato. Dopo la guerra la televisione ebbe rapidamente il successo che meritava e nel 1954 si ebbero le prime trasmissioni televisive anche in Italia.

Col passare degli anni la televisione ha assorbito dalla radio tutte le forme di comunicazione esistenti: cinema, musica, teatro e intrattenimenti di piazza valorizzando così anche gli aspetti più umili della cultura popolare e proponendosi come la naturale evoluzione della radio stessa mentre il cinema perdeva sempre di più il suo pubblico.

Nel frattempo la radiofonica non fu completamente soppiantata (come qualcuno ipotizzò all'avvento della televisione) ma assunse funzioni diverse: perse il suo carattere familiare divenendo così mezzo di comunicazione individuale: la scoperta dei semiconduttori e il progredire delle tecnologie permise la realizzazione di apparecchi portatili mentre il pubblico diventava molto variabile a seconda delle fasce orarie, analogamente a come accade oggi per la televisione.

La casa non era più un luogo di raccoglimento protetto dalla comunicazione pubblica, che fino ad allora aveva come teatro la piazza, ma era costantemente collegata con il resto del mondo attraverso la rete telefonica, e poteva accogliere i messaggi più disparati dalla televisione e dalla radio.

## Comunicazione tramite onde radio

### Onde elettromagnetiche e onde radio

La propagazione delle onde elettromagnetiche è governata dalle leggi di Maxwell della circuitazione del campo elettrico e del campo magnetico:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi(\vec{B})}{dt} \quad \text{e} \quad \oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \left( i_{ch} + \varepsilon_0 \frac{d\Phi(\vec{E})}{dt} \right)$$

Dove la prima equazione rappresenta la legge dell'induzione di Faraday e la seconda è la sintesi matematica del teorema di Ampere - Maxwell, teorema che rappresenta il frutto di una ricerca di simmetria tra campi elettrici e magnetici.

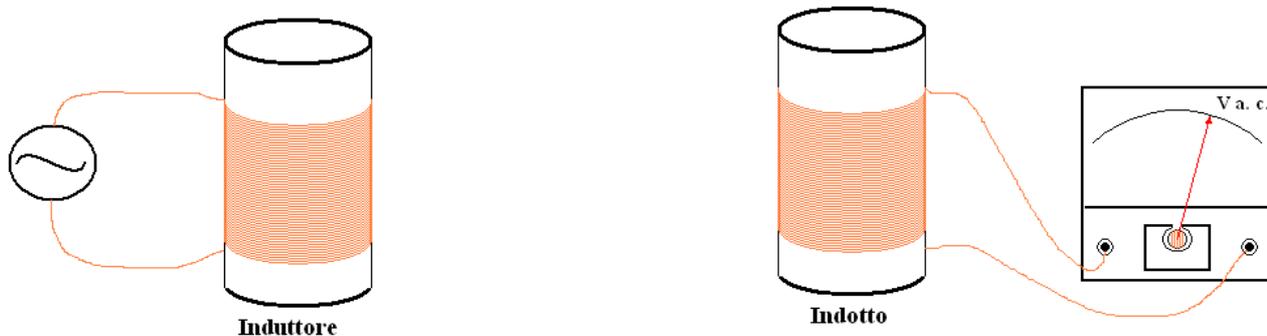
Le soluzioni di queste equazioni sono funzioni d'onda per il campo elettrico e per il campo magnetico:

$$E = E_m \text{sen}(kx - \omega t)$$

$$B = B_m \text{sen}(kx - \omega t)$$

Dove  $k$  è il numero d'onda e  $\omega$  è la pulsazione dell'onda.

L'esperimento dell'induzione elettromagnetica, rappresentato in figura, è di per sé un esempio di trasmissione di energia elettrica senza l'interposizione di un conduttore: nel circuito indotto, pur essendo isolato dal circuito induttore, si genera una fem indotta. E' da notare inoltre che la propagazione avviene solo se c'è una variazione nel tempo delle grandezze elettriche nel circuito induttore, questo fatto diventa caratteristico nella trasmissione radiofonica dal momento che le stazioni si identificano proprio per mezzo della loro frequenza.

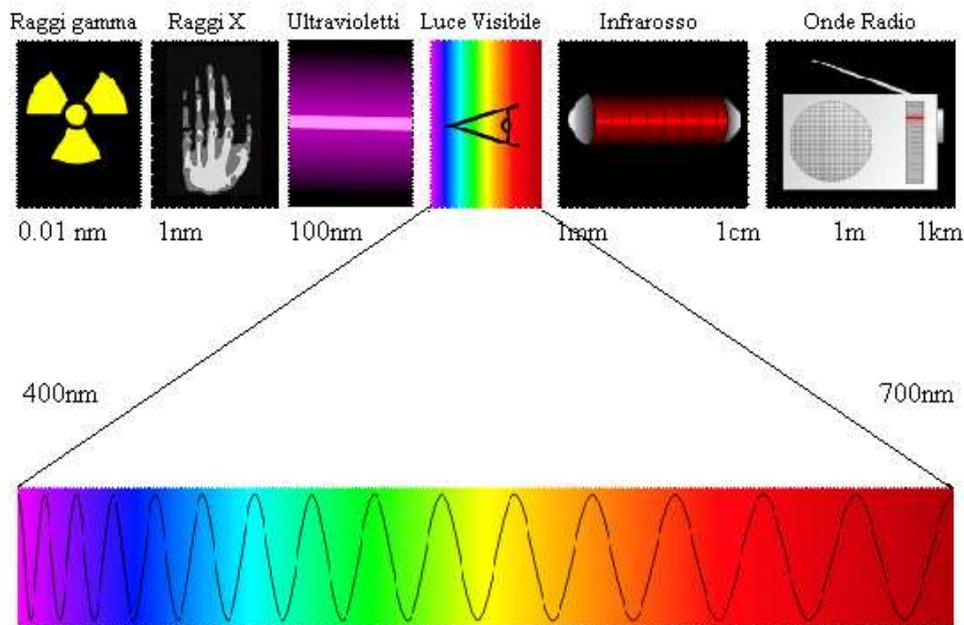


Le onde elettromagnetiche sono dunque la propagazione di campi elettrici e magnetici che si concatenano a vicenda secondo le equazioni di Maxwell. A partire da questo presupposto si possono spiegare alcuni fenomeni caratteristici che differenziano le onde elettromagnetiche dalle onde meccaniche:

- La propagazione dell'onda elettromagnetica può avvenire anche nel vuoto
- Qualunque siano le proprietà meccanico/fisiche del luogo in cui si propaga l'onda (non possiamo parlare di mezzo), essa non varia la sua velocità di propagazione in modo consistente: questa è infatti molto prossima alla velocità di propagazione della luce,  $3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Il campo elettromagnetico non è un mezzo dispersivo, quindi la potenza dell'onda è costante in ogni punto dello spazio.

Come le onde meccaniche, anche le onde elettromagnetiche sono caratterizzate da una frequenza e da una lunghezza d'onda; per le onde elettromagnetiche la lunghezza d'onda è sempre inversamente proporzionale alla frequenza per mezzo di una costante fisica: la velocità della luce  $c$ .

La classificazione delle onde elettromagnetiche viene fatta a partire dalla loro lunghezza d'onda; di seguito è riportato lo spettro completo delle onde elettromagnetiche e le relative lunghezze d'onda, ordinate in modo crescente



Sotto il nome di **Onde radio** vanno dunque le onde elettromagnetiche con una lunghezza che varia da 1cm a 1km; a causa della vastità del loro spettro le onde radio sono suddivise a loro volta in

- Microonde (centimetriche)
- UHF (decimetriche)
- VHF (metriche)
- Onde corte (decametriche)
- Onde medie (ettometriche)
- Onde lunghe (chilometriche).

Si utilizzano onde con diversa lunghezza a seconda della distanza da coprire e dalla potenza da trasmettere.

## La prima radio: la radio a galena

Finalmente siamo giunti a parlare di un apparecchio ricevitore vero e proprio; esso è progettato per la ricezione di stazioni radiofoniche che trasmettono nella gamma delle onde medie. Seppur rudimentale e poco pratico ha due pregi: non necessita di alcun tipo di alimentazione e può essere realizzato molto facilmente dal momento che richiede un esiguo numero di componenti e la sua realizzazione non è critica. La semplicità costruttiva, la facile reperibilità dei componenti negli anni '40, ha fatto sì che questo apparecchio avesse grande diffusione tra i profughi e i prigionieri di guerra.

### Antenne

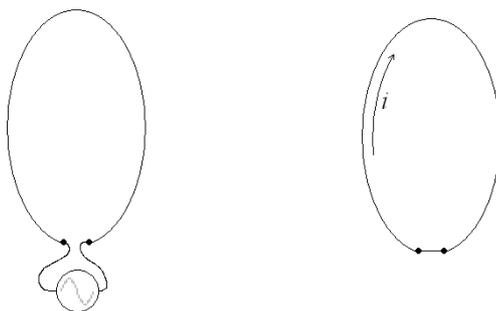
Per ricevere un'onda elettromagnetica, la prima cosa di cui si ha bisogno è un'antenna: un dispositivo che traduce la perturbazione elettromagnetica in una differenza di potenziale e viceversa, a seconda se esse sono utilizzate in trasmissione o in ricezione.

Si è visto che le perturbazioni elettromagnetiche si formano da una variazione temporale di un campo elettrico o magnetico; per propagare un'onda elettromagnetica abbiamo bisogno di un modo pratico per creare un campo elettrico o magnetico variabile nel tempo.

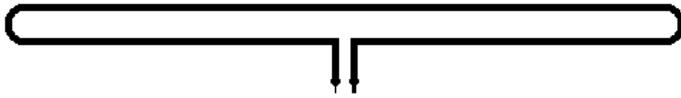
Il modo più semplice (e più intuitivo) consiste nell'utilizzare una spira percorsa da una corrente variabile: ad essa si concatena un campo magnetico anch'esso variabile che poi darà origine alla perturbazione elettromagnetica.

Allo stesso modo la parte magnetica di un'onda elettromagnetica che concatena una spira, genera al suo interno una corrente variabile: possiamo immaginare la spira come una linea di circuitazione: per la quarta equazione di Maxwell la circuitazione del campo elettrico indotto all'interno della spira non è nullo, per cui non ci si trova in condizioni di equilibrio elettrostatico: c'è una corrente che scorre nella spira.

Interrompendo la spira, tra i due estremi della stessa si forma una differenza di potenziale (che peraltro è uguale alla circuitazione del campo elettrico prendendo come linea di circuitazione la spira stessa).



Questo costituisce un'antenna comunemente detta "dipolo ripiegato" e largamente utilizzata sia in trasmissione sia in ricezione; spesso la forma di quest'antenna però non è una spira circolare ma una spira molto schiacciata in cui si affiancano ad una distanza molto piccola due rami in cui circolano correnti controverse; questo accorgimento tecnico aumenta il rendimento dell'antenna stessa.



Un altro tipo di antenna è il dipolo semplice: esso è formato da due conduttori lineari che giacciono sulla stessa retta, isolati elettricamente tra loro:



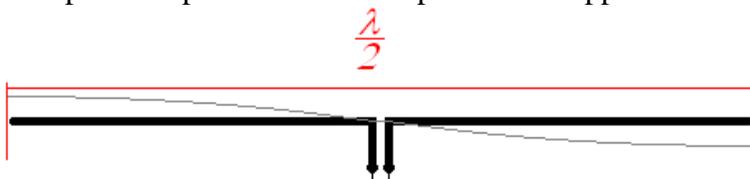
In questo caso sul conduttore che costituisce l'antenna si instaura un campo elettrico indotto in modo del tutto analogo a quanto accade per il dipolo ripiegato.

Le antenne sono l'equivalente di un circuito risonante RLC serie (che sarà analizzato dettagliatamente nel corso della trattazione dei circuiti di sintonia), pertanto esse hanno una certa frequenza di risonanza, cioè hanno una certa attitudine a ricevere (ma lo stesso discorso vale anche per la trasmissione) onde elettromagnetiche a determinate lunghezze d'onda.

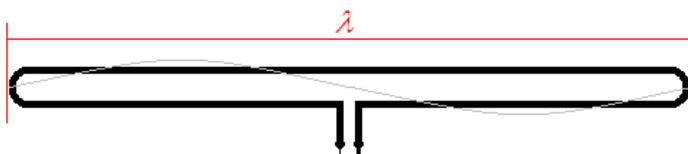
Per far sì che si formi un campo elettrico indotto l'antenna deve andare in "risonanza", cioè su di essa si deve instaurare un'onda elettromagnetica stazionaria (come avviene su una corda percossa su cui si instaura un'onda meccanica stazionaria).

La frequenza di risonanza di un'antenna è caratteristica dell'antenna e varia in base alla sua geometria (in modo analogo a quanto accade per una corda elastica):

Un dipolo semplice in risonanza può essere rappresentato come in figura:



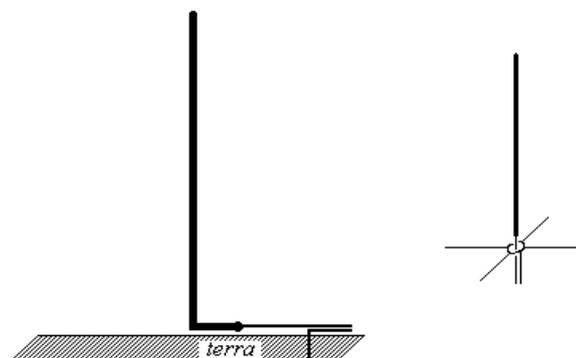
La sua lunghezza complessiva è pari a metà della lunghezza d'onda poiché l'antenna risulta essere aperta ad entrambe le estremità (in una di esse si forma un ventre mentre in un'altra una cresta che poi si alternano a vicenda lasciando al centro dell'antenna un nodo).



In un'antenna a dipolo ripiegato l'onda stazionaria che si forma avrà un nodo al centro del dipolo e uno situato su ognuno dei due ripiegamenti che sono alle estremità dell'antenna.

Trasmettere o ricevere segnali ad una frequenza piuttosto bassa richiede quindi antenne di grandi dimensioni.

Si presta particolarmente alla ricezione e trasmissione in onde medie e onde lunghe l'antenna "ground-plane" (alla lettera "piano di terra") che offre dimensioni fortemente vantaggiose rispetto ai tipi precedentemente descritti, a discapito del rendimento: essa è



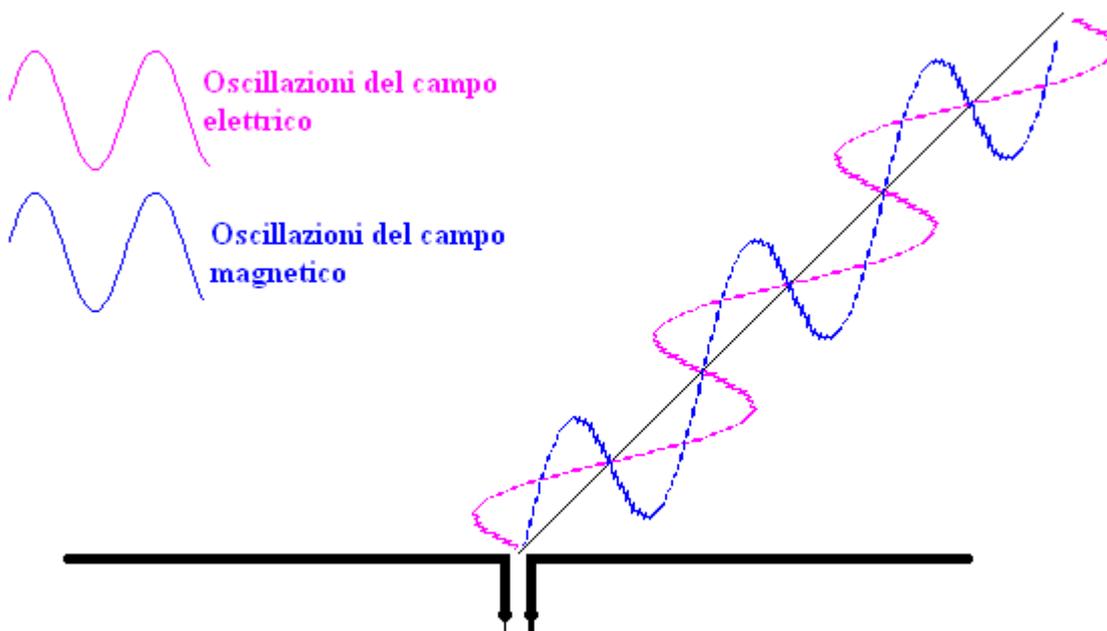
costituita da uno stilo metallico che parte da una griglia collegata a terra (e da cui è elettricamente isolato) e prosegue perpendicolarmente alla griglia. Spesso al posto della griglia c'è la stessa superficie terrestre e lo stilo metallico è disposto verticalmente.

Esso appare come descritto nel disegno a lato:

In questo tipo di antenna la terra funziona come uno specchio: esso riflette verso l'alto la parte di segnale che tende a propagarsi verso il basso se l'antenna funziona come trasmettitore e raccoglie la semionda restante se essa funge da ricevitore; questa antenna può essere immaginata come un dipolo semplice in cui uno dei due rami del dipolo è costituito dalla superficie terrestre.

A questo punto è semplice comprendere perché questa tipologia di antenna ha dimensioni ridotte: a parità di lunghezza d'onda essa ha la metà della lunghezza di un'antenna a dipolo semplice: la sua lunghezza è infatti un quarto della lunghezza d'onda.

Le onde elettromagnetiche sono onde trasversali, per cui, in modo analogo alle onde meccaniche trasversali, esse possono essere polarizzate; Le antenne a dipolo semplice emettono un'onda elettromagnetica il cui campo elettrico è polarizzato lungo il piano compreso tra l'asse dell'antenna e la direzione di propagazione come è visibile dal disegno:



Se l'antenna trasmittente è perpendicolare all'antenna ricevente, su quest'ultima non si instaura alcun campo elettrico e il segnale ricevuto sarà nullo; la massima trasmissione di potenza avviene quando le due antenne (e quindi i piani di polarizzazione) sono paralleli.

In realtà ai capi di un'antenna (compresa quella utilizzata per l'esperimento) si raccoglie la composizione di tanti segnali a frequenze diverse (dall'intenso segnale a 50Hz indotto dai campi elettromagnetici generati dai conduttori della rete ENEL, ai segnali più deboli delle stazioni radiofoniche oltreoceano, con frequenze anche al di sotto della banda delle onde lunghe, fino ai segnali delle microonde).

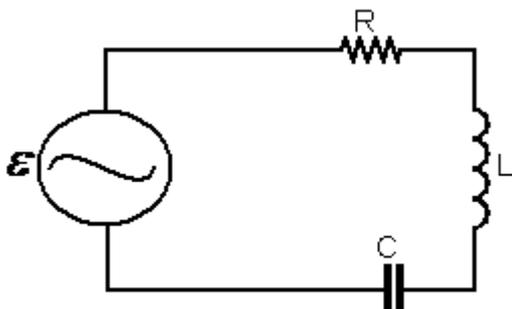
Il passo successivo è quindi quello di selezionare una sola delle frequenze che compongono il segnale d'antenna, questa operazione è detta sintonia e viene eseguita da circuiti particolari che lavorano in alta frequenza.

## Sintonia

I circuiti di sintonia in alta frequenza più elementari sono dei circuiti accordati (o circuiti risonanti) del tipo RLC serie o parallelo; caratteristiche principali di questi circuiti sono la *frequenza di risonanza*, cioè la frequenza alla quale il circuito è accordato (che può variare per permettere la sintonia su diverse stazioni all'interno della banda) e il *fattore di merito*, cioè la gamma di frequenze vicine alla frequenza di risonanza che “passano” attraverso il circuito di sintonia.

Un apparato ricevente è tanto più selettivo quanto più il fattore di merito del suo circuito di sintonia è alto (ma senza esagerare: un fattore di merito troppo alto comporta una banda passante troppo ristretta, al punto da non permettere al segnale modulato di essere rivelato).

## Circuiti risonanti serie

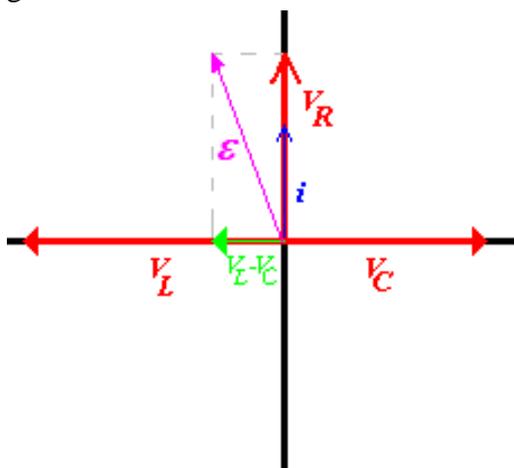


Alimentando un circuito risonante serie con un generatore di tensione alternata con una tensione picco-picco  $\varepsilon$  e che oscilla ad una frequenza  $f$  come raffigura il disegno, i suoi componenti si comportano in modo da modificare la loro reattanza in funzione della frequenza con le seguenti leggi

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$$

Sappiamo che i vari componenti sono in serie (quindi attraversati dalla stessa corrente  $i$ ). Rappresentando le tensioni ai capi di ogni componente con il metodo dei fasori si ha il seguente grafico:



Applicando il secondo principio di Kirchhoff in forma vettoriale al circuito si ha

$$\vec{\varepsilon} = \vec{V}_R + \vec{V}_C + \vec{V}_L$$

Di conseguenza il modulo della fem sarà

$$\varepsilon = \sqrt{V_R^2 + (V_C - V_L)^2}$$

per la legge di Ohm si ha

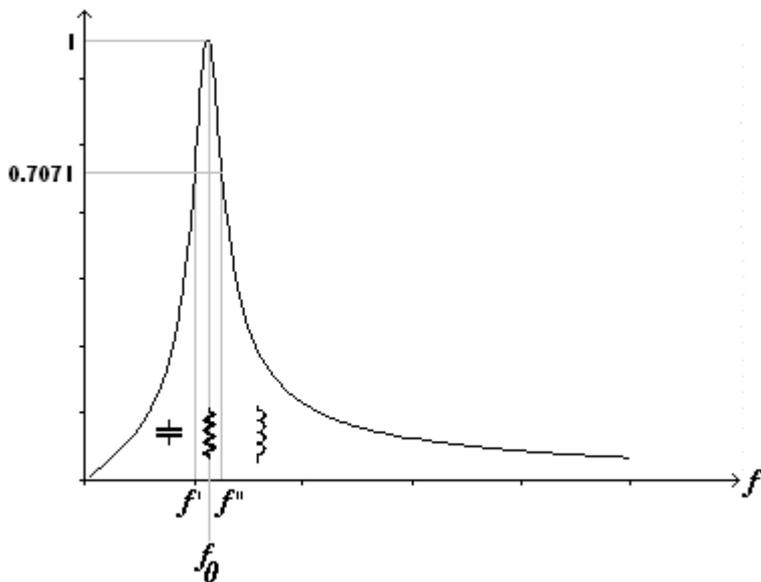
$$\varepsilon = \sqrt{I^2 \cdot (R^2 + (X_C - X_L)^2)}$$

$$\varepsilon = I \sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}$$

Poiché il circuito è alimentato in modo che la tensione picco-picco ai suoi capi sia costante, si può calcolare la corrente che fluisce nel circuito a partire dall'equazione appena trovata:

$$I = \frac{\varepsilon}{\sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}}$$

Da quest'ultima equazione (il cui termine al denominatore rappresenta l'impedenza del circuito,  $Z$ ) si può tracciare un grafico che rappresenta la corrente in funzione della frequenza a tensione picco-picco costante. Tale grafico, in un circuito risonante serie, ha questo aspetto:



E' un grafico a campana: presenta un massimo (alla cui frequenza il circuito lascia passare la massima corrente, *comportamento resistivo*) e diventa asintotico all'asse delle ascisse (comportamento induttivo) all'aumentare della frequenza e tende a zero (comportamento capacitivo) al diminuire della frequenza.

Le caratteristiche di un circuito risonante serie sono dunque riassunte nel grafico caratteristico e sono la

$$\text{frequenza d'accordo } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$\text{e il fattore di merito } Q = \frac{f_0}{f'' - f'}.$$

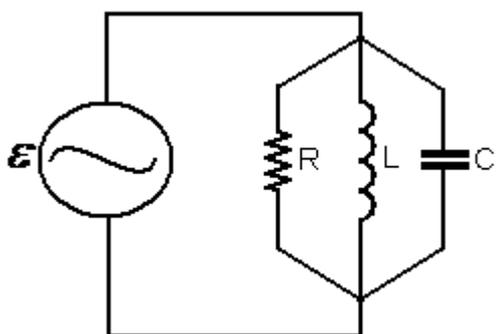
$f'' - f'$  prende il nome di **banda passante** ed è stabilito per convenzione a  $\frac{1}{\sqrt{2}} I_{\max}$ .

Si deduce quindi che gli unici parametri che variano la frequenza d'accordo sono la capacità del condensatore e l'induttanza della bobina; nei circuiti di sintonia dei ricevitori uno di questi due componenti è variabile (entro certi valori) e permette così di scegliere la frequenza sulla quale accordare il ricevitore: la stazione su cui *sintonizzarsi*.

Il valore del resistore incide sul fattore di merito del circuito: all'aumentare dello stesso diminuisce il fattore di merito diminuendo la selettività. Ad un'analisi più approfondita risulta che

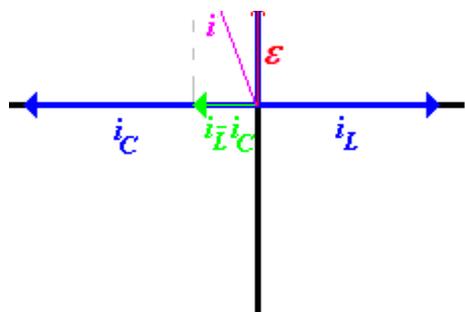
$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

### Circuiti risonanti parallelo (o antirisonanti)



Il circuito di sintonia del ricevitore trattato in queste pagine è un circuito risonante parallelo. Per esso valgono le stesse considerazioni fatte per quello in serie per quanto riguarda la reattanza dei componenti; la differenza sta nel fatto che, essendo i componenti collegati in parallelo, essi non sono più attraversati dalla stessa corrente ma sono sottoposti alla stessa tensione che ha un valore massimo  $\epsilon$ :

Applicando il primo principio di Kirchhoff a uno dei nodi nello schema si ha



$$\vec{I} = \vec{i}_R + \vec{i}_C + \vec{i}_L$$

$$I = \sqrt{i_R^2 + (i_L - i_C)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{V}{R}\right)^2 + \left(\frac{V}{X_L} - \frac{V}{X_C}\right)^2}$$

$$I = V \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}$$

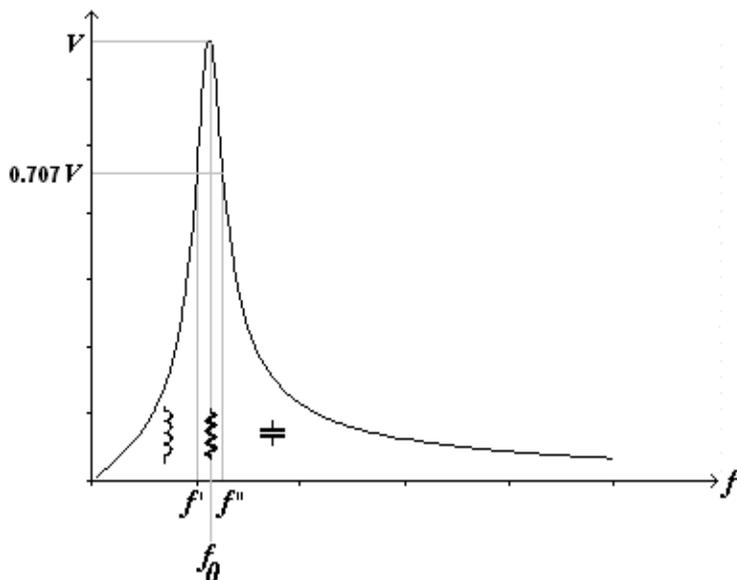
Da questa relazione si può dire che il termine che moltiplica V è il reciproco dell'impedenza del circuito:  $Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}}$

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}}$$

Questa tipologia di circuito RLC è detta antirisonante perché aumenta la sua impedenza in prossimità della frequenza di risonanza, al contrario di quanto accade per il circuito RLC serie.

Inoltre dalla relazione  $I = V \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}$  si potrebbe tracciare il grafico analogamente a come operato per il circuito RLC serie.

Per l'analisi degli RLC parallelo li consideriamo alimentati in corrente e ne studiamo l'andamento della tensione al variare della frequenza di alimentazione: il grafico della risposta in frequenza ha questo aspetto:



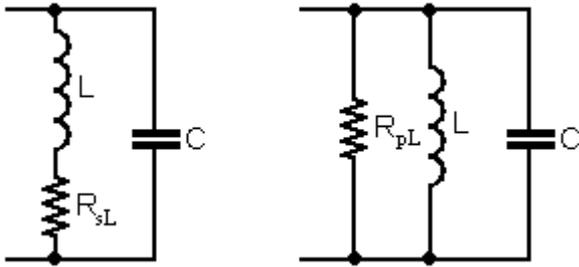
Il comportamento del circuito è prevalentemente capacitivo alle alte frequenze e prevalentemente induttivo alle basse frequenze.

Anche in questo caso si possono definire la frequenza di risonanza e il fattore di merito analogamente a quanto fatto per il circuito RLC serie; il fattore di merito in questo caso aumenta all'aumentare del valore del resistore, comportandosi inversamente rispetto al circuito RLC serie e si calcola con l'equazione

$$Q = R \sqrt{\frac{C}{L}}$$

Per aumentare il fattore di merito si può pensare di aumentare il valore del resistore fino ad ottenere il Q voluto, ma avendo a che fare con componenti reali dobbiamo sempre tener conto di una resistenza in serie all'induttanza dovuta alla resistenza del filo che la costituisce.

Questa resistenza  $R_{sL}$  può essere considerata come una resistenza equivalente  $R_{pL}$  inserita in parallelo al circuito



e il cui valore può essere calcolato come segue:

$$R_{pL} = \frac{L}{C \cdot R_{sL}}$$

Nel caso in cui, oltre alla  $R_{pL}$ , c'è anche una resistenza fisica, dovuta ad un carico utilizzatore posto in parallelo al circuito LC (nel nostro caso il carico utilizzatore sarà una cuffia con un'impedenza di  $2k\Omega$ ), essa andrà considerata e andrà dunque ad incidere sul fattore di merito del circuito.

Analogamente al circuito risonante serie, un aumento del fattore di merito è dato da una diminuzione della resistenza in serie alla bobina:  $Q = \frac{L}{C \cdot R_{sL}} \sqrt{\frac{C}{L}}$ . In ogni caso il fattore di merito

del circuito varia in funzione della frequenza d'accordo dipendendo esse da C e da L.

In un circuito accordato parallelo reale, in cui l'induttanza è costante e la capacità varia per selezionare la frequenza a cui sintonizzarsi, all'aumentare della capacità

- La frequenza di accordo cala  $\left( f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \right)$
- Il fattore di merito cala  $\left( Q = \frac{L}{C \cdot R_{sL}} \sqrt{\frac{C}{L}} \right)$ .

Nonostante la variazione del fattore di merito si dimostra facilmente che la banda passante  $B$  resta sempre la medesima, qualunque sia la frequenza di accordo, dipendendo essa dai soli parametri costruttivi della bobina:

$$Q = \frac{L}{C \cdot R_{sL}} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

ricordando che  $Q = \frac{f_0}{B}$

$$\frac{f_0}{B} = \frac{L}{C \cdot R_{sL}} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \cdot \frac{1}{B} = \frac{L}{C \cdot R_{sL}} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$B = \frac{C \cdot R_{sL} \cdot \sqrt{L}}{2\pi \cdot L \sqrt{LC} \cdot \sqrt{C}} = \frac{R_{sL}}{2\pi \cdot L}$$

### Accorgimenti per aumentare la selettività

Si è visto che il fattore di merito di un circuito accordato, serie o parallelo esso sia, è inversamente proporzionale alla resistenza in serie all'induttanza e quest'ultima è direttamente proporzionale alla lunghezza del filo che compone la bobina:

$$R = \rho \frac{l}{S} \text{ (seconda legge di Ohm)}$$

Supponendo che l'induttanza sia formata da una bobina di lunghezza  $l$  avvolta in aria con  $N$  spire ravvicinate e di sezione  $A$  e il filo abbia diametro  $d$  si può scrivere che

- la lunghezza del filo che compone la bobina è  $l = N\sqrt{4A\pi}$  essendo la bobina fatta di spire circolari
- la sezione del filo è  $S = \frac{\pi}{4}d^2$

La seconda legge di Ohm applicata al filo che costituisce la bobina può essere dunque scritta come

$$R = \rho \frac{N\sqrt{4A\pi}}{\frac{\pi}{4}d^2} = \frac{4 \cdot \rho \cdot N}{\pi} \sqrt{\frac{A}{d}} \pi$$

Elevando al quadrato entrambi i membri si ha

$$R^2 = \frac{16 \cdot \rho^2 \cdot N^2}{\pi} \cdot \frac{A}{d}$$

Da quest'ultima equazione si evince chiaramente che la resistenza in serie all'induttanza dipende dalle caratteristiche costruttive della bobina e vedremo che risulta tanto maggiore quanto più è grande il valore dell'induttanza.

A partire dall'equazione che permette di calcolare l'induttanza

$$L = \mu_0 \frac{N \cdot A}{d}$$

si deduce facilmente che per ridurre la resistenza interna a parità di induttanza bisogna **diminuire proporzionalmente il numero di spire e il diametro del filo** oppure **diminuire il numero di spire e proporzionalmente aumentare l'area delle spire**.

Questo discorso vale entro i limiti di validità delle formule utilizzate: l'equazione dell'induttanza è valida solo per bobine la cui lunghezza è molto maggiore del diametro della spira poiché non tiene conto del ripiegamento delle linee del campo magnetico in prossimità delle estremità.

Per calcolare le induttanze delle bobine, vista la scarsa validità della formula (che resta pur sempre una formula teorica), sono state trovate delle formule empiriche note come *formule di Wheeler* per cui

$$L(\mu H) = 0,987 \cdot 10^{-2} \cdot N^2 \cdot \frac{d^2(\text{cm})}{l(\text{cm})} \cdot K$$

Dove  $N$  indica il numero di spire,  $d$  il diametro della spira,  $l$  la lunghezza della bobina

Stabilito il valore  $k = -0.2105 \cdot \ln \frac{d}{l} + 0.6621$ . Per il dimensionamento del circuito di sintonia del nostro ricevitore utilizzeremo questa formula e non quella teorica, tenendo presente che i limiti di validità di questa sono per  $\frac{d}{3} \leq l \leq 10d$ .

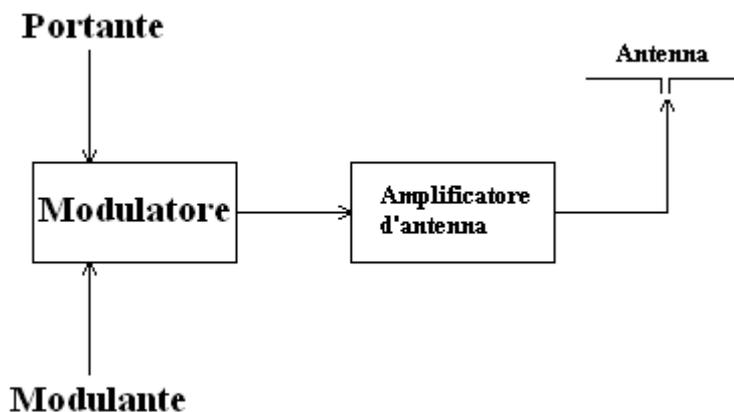
### Cenni sulle modulazioni

Collegando un antenna ad un circuito di sintonia si filtra dunque la sola stazione che interessa ricevere. Le stazioni radiofoniche trasmettono ad una determinata frequenza (detta frequenza portante  $f_p$ ) i segnali audio; questi ultimi vengono generati da un microfono o (come avviene solitamente nelle attuali trasmissioni radio) vengono prelevati da un banco da DJ e hanno frequenza, ampiezza e forma tra le più disparate; questi segnali costituiscono il segnale modulante.

E' semplice dedurre quindi il perché delle modulazioni: inviare un segnale sfruttando le oscillazioni del segnale modulante è improponibile dal momento che esso ha lunghezze d'onda (e quindi antenne) lunghe decina di chilometri dal momento che la frequenza della modulante varia nel campo udibile da 20 a 20000 Hz.

La frequenza della portante varia da stazione a stazione e va dai 100kHz delle onde lunghe alle centinaia di megahertz delle onde cortissime con conseguenti riduzioni delle dimensioni delle antenne all'ordine delle decine di metri.

Lo stadio finale di una stazione trasmittente può essere così rappresentato:

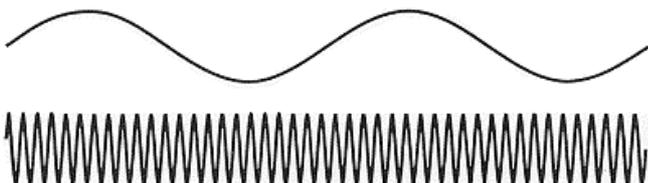


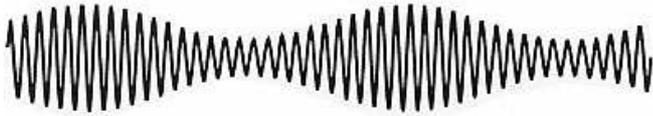
Quindi il segnale che si ottiene a valle del circuito di sintonia di una radio non è udibile; per essere reso udibile bisogna sapere come esso sia stato modulato ed eseguire all'interno del ricevitore il processo inverso.

### Modulazione d'ampiezza (AM)

E' la più semplice delle modulazioni, la prima utilizzata storicamente e tuttora applicata nella trasmissione radiofonica in onde medie. Consiste nel far variare l'ampiezza del segnale modulato in base all'ampiezza della modulante:

I seguenti grafici rappresentano rispettivamente il segnale modulante, il segnale portante e il segnale modulato in ampiezza.





Il segnale in uscita è, istante per istante, la somma tra la portante e il prodotto tra la modulante e la portante moltiplicati per un coefficiente  $K$ , che prende il nome di profondità di modulazione:

se  $v_m(t)$  è il segnale modulante e  $v_p(t)$  è il segnale portante,

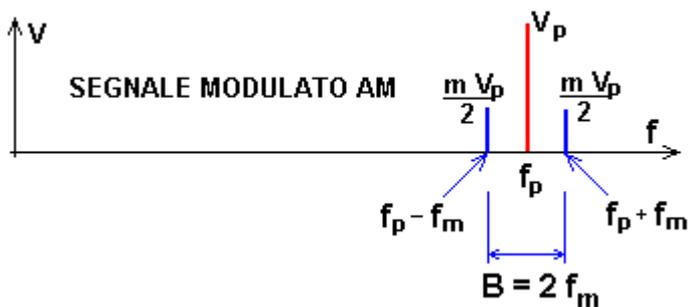
$$v(t) = K(v_m(t) \cdot v_p(t)) + v_p(t)$$

Affinché la modulazione sia efficace il rapporto tra la tensione picco picco della modulante e quello della portante deve rientrare entro certi valori per non incorrere in problemi di sovrarmodulazione.

Un aumento di tale rapporto (detto indice di modulazione  $m = \frac{V_m}{V_p}$ ) comporta un aumento del

rendimento della modulazione che comunque è molto basso rispetto agli altri tipi di modulazioni; il massimo rendimento teorico di questo tipo di modulazione, ottenuto con un indice di modulazione unitario, è di appena 17%.

Il motivo di ciò è da ricercare nell'analisi di Fourier del segnale modulato:



Come si vede dal grafico il segnale modulato al suo interno contiene la portante (indicata dalla banda rossa centrale) e due segnali le cui frequenze sono una la somma tra la frequenza della modulante e la frequenza della portante e una la loro differenza.

È semplice dedurre che la trasmissione della portante è un dispendio inutile di

energia dal momento che essa non trasporta alcuna informazione, inoltre trasportare il segnale informativo (di ampiezza  $\frac{mV_p}{2}$ ) su due frequenze diverse è inutile: basta infatti trasmettere su una

sola frequenza ma ciò renderebbe eccessivamente complessa la demodulazione.

Inoltre la banda è molto larga: per una frequenza della modulante di 20kHz, essa corrisponderebbe a 40kHz; accordi internazionali limitano la larghezza di banda a 10kHz per permettere maggiore vicinanza tra le stazioni radiofoniche a discapito della fedeltà di riproduzione.

La modulazione d'ampiezza è tuttora usata da alcune stazioni radiofoniche per la trasmissione di segnale audio in onde medie. La RAI trasmette il segnale di Radio 1 con una frequenza della portante di 567kHz. La modulazione d'ampiezza è stata ormai abbandonata da molte stazioni radiofoniche dal momento che essa risente di forti disturbi, ha un basso rendimento e pertanto richiede una grande potenza in trasmissione, non permette la trasmissione stereofonica, non permette di avere un'alta selettività per cui le stazioni devono avere le frequenze delle portanti molto diverse tra loro per non interferire.

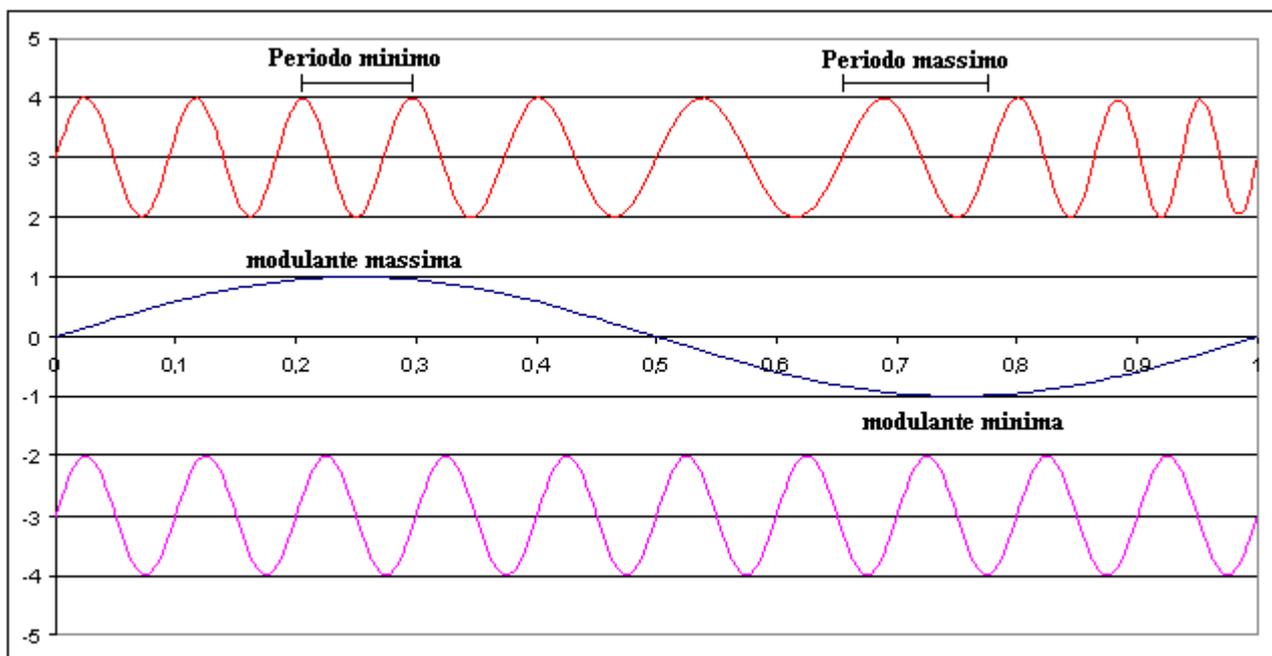
Per questa serie di motivi è stata adottata la modulazione di frequenza

### Modulazione di Frequenza (FM)

Essa è largamente utilizzata sia in campo radiofonico che in campo televisivo per la trasmissione del segnale audio; le stazioni radio trasmettono con una frequenza della portante compresa tra 88 e 108MHz nella banda delle VHF.

Il principio di funzionamento è simile alla modulazione d'ampiezza ma il segnale modulato ha una frequenza leggermente diversa dalla frequenza della portante, la differenza tra le due frequenze è proporzionale all'ampiezza del segnale modulante.

I seguenti grafici rappresentano la modulante, la portante e il segnale modulato rispettivamente in blu, fucsia e rosso.



Come è evidente dai grafici quando la modulante raggiunge il suo massimo il periodo del segnale modulato diventa minimo; al contrario quando la modulante raggiunge un minimo, il periodo del segnale modulato diventa massimo.

Nella modulazione di frequenza utilizzata dalle stazioni radiofoniche la frequenza del segnale modulato si discosta al massimo dalla frequenza portante di 38 KHz ( $\Delta f$ ) mentre le varie stazioni trasmettenti modulano su portanti distanti l'una dall'altra 50 KHz; questo è uno dei vantaggi della modulazione di frequenza: essa permette di avere stazioni più numerose che trasmettono a frequenze molto vicine senza interferire tra loro.

Per analizzare più dettagliatamente la modulazione di frequenza si può scegliere, per semplicità, un segnale modulante sinusoidale a frequenza  $f_m$  su una portante sinusoidale a frequenza  $f_0$ ; le seguenti equazioni rappresentano modulante e portante al variare del tempo:

$$v_m(t) = V_m \text{sen}(2\pi f_m t) \text{ per la modulante}$$

$$v_p(t) = V_p \text{sen}(2\pi f_p t) \text{ per la portante.}$$

Stabilito il  $\Delta f$ , l'equazione del segnale all'uscita del modulatore sarà dato da

$$v(t) = V_p \text{sen}(2\pi (f_p + \Delta f \cdot \text{sen}(2\pi f_m t))t)$$

Cioè la sua frequenza  $f_p$  sarà sommata di una quantità compresa tra  $-\Delta f$  e  $+\Delta f$  per un valore di  $\text{sen}(2\pi f_m t)$  che varia da -1 a +1.

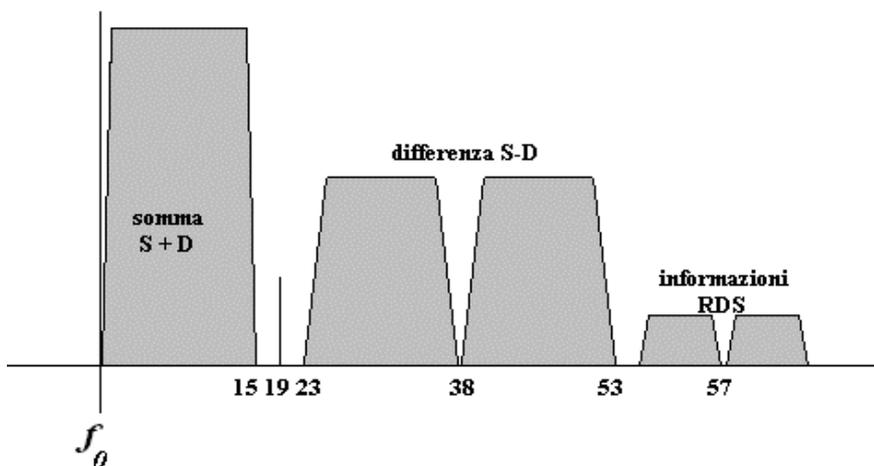
L'indice di modulazione in questo caso è dato dal rapporto  $m = \frac{\Delta f}{f_m}$ .

Al variare di questo rapporto varia l'incidenza del segnale portante rispetto al segnale modulato. Il massimo rendimento è dato da una sparizione del segnale portante e quindi il rendimento complessivo massimo di questo tipo di modulazione è del 50%, molto maggiore del massimo rendimento ottenibile con una modulazione d'ampiezza.

### Trasmissioni radio stereofoniche e informazioni RDS

Unito al vantaggio in termini di rendimento (e quindi di potenza necessaria in trasmissione), la modulazione di frequenza presenta anche un altro pregio: la possibilità di trasmettere in stereofonia: questo è in stretta correlazione con la possibilità di avere due trasmettenti molto vicine in termini di frequenza della portante: la trasmissione in stereofonia viene infatti eseguita trasmettendo la somma dei due canali (sinistro e destro) modulata in frequenza sulla portante principale e la differenza tra i due canali modulata in ampiezza su una "sottoportante" che si discosta di 38kHz dalla portante principale; questa sottoportante è soppressa in fase di trasmissione per evitare un inutile dispendio di energia da parte dell'amplificatore d'antenna: abbiamo già detto come un segnale modulato in ampiezza contiene infatti, oltre alle bande laterali (che trasportano l'informazione) anche la portante; in sostituzione della portante a 38kHz viene inviato un segnale (non modulato) a 19kHz, molto meno intenso di una ideale portante: sarà il ricevitore a filtrare la "nota" a 19kHz, amplificarla e duplicarne la frequenza in modo da ricostruire la portante a 38kHz, necessaria poi a demodulare il segnale differenza modulato in ampiezza.

Al segnale così composto vengono talvolta aggiunte informazioni circa la stazione trasmittente, il tipo di programma radiofonico trasmesso, eventuali informazioni sul traffico, la data e l'ora; queste informazioni aggiuntive vengono codificate in digitale e inviate in modulazione di fase su un'altra sottoportante che si discosta dalla portante principale di 57kHz. Il segnale dunque risulta così composto:



In ricezione quindi bisognerà separare i due canali (sinistro e destro) amplificandoli separatamente. Sommando tra loro il segnale S+D e il segnale S-D si ha il segnale 2S; sottraendoli tra loro si ha il segnale 2D, inoltre un ricevitore FM mono non riceve tutta la banda ma solo i primi 15kHz: al suo interno ci sono le informazioni sufficienti ad alimentare un solo canale che contiene le informazioni

di entrambi; inoltre la presenza o meno del segnale a 19kHz permette al ricevitore stereo di predisporre per una decodifica in stereo o in mono (e di accendere l'eventuale spia "FM stereo")

A questi vantaggi si contrappone una complessità piuttosto elevata nei circuiti sia trasmettenti che riceventi.

Una volta a conoscenza di come risulta il segnale all'uscita del circuito di sintonia si può passare alla progettazione del *rivelatore*, cioè il dispositivo mediante il quale, dal segnale modulato si ricava il segnale modulante.

### Rivelazione

Il ricevitore in questione deve rivelare segnali modulati in ampiezza, a questo scopo si utilizza la rivelazione a diodo semplice, che consiste nel rettificare la sinusoide raccolta a valle del circuito di sintonia. Il componente più adatto a fare ciò è il **diodo**.



### Il diodo

Il diodo è un componente non lineare a due terminali il cui scopo è permettere il flusso di corrente in uno solo dei due versi.

I due terminali sono detti anodo (A) e catodo (K) e la corrente passa (nel verso convenzionale) solo da anodo a catodo (nel simbolo elettrico la corrente passa solo nel verso della freccia); in realtà gli elettroni passano dal catodo verso l'anodo e non il viceversa.

Attualmente per diodo si intende un componente a semiconduttore (silicio o germanio) drogato di tipo P sull'anodo e di tipo N sul catodo. Prima della scoperta dei semiconduttori il nome di diodo era attribuito ad un tubo termoionico che aveva la stessa caratteristica dell'attuale diodo a semiconduttore.

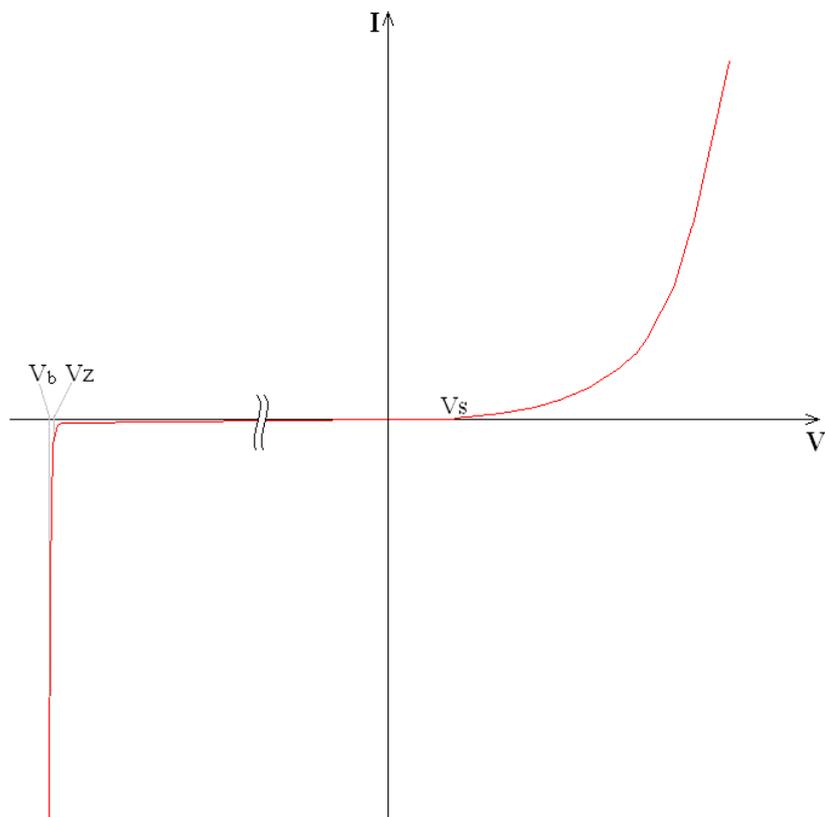
La curva caratteristica di questo componente è la seguente:

Nel grafico è rappresentata la relazione tra tensione e corrente in un diodo; la polarizzazione diretta del diodo è rappresentata nel primo quadrante, la polarizzazione inversa nel terzo.

La  $V_s$  è detta tensione di soglia e indica la minima tensione necessaria al diodo per iniziare la conduzione: vediamo infatti che per tensioni inferiori di questo valore la corrente è pressoché nulla;

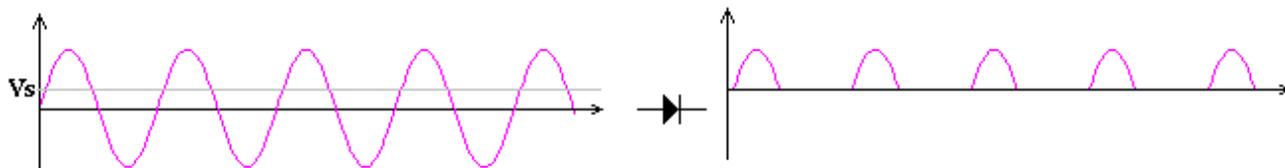
Se il diodo è polarizzato inversamente la corrente resta trascurabile per tensioni minori (in valore assoluto) di  $V_z$  per poi crescere repentinamente fino al valore di brake-down ( $V_b$ ). Questi ultimi due valori sono molto vicini, al punto che è impossibile utilizzare il diodo per valori prossimi alla  $V_z$ .

Esistono dei particolari diodi detti zener che sono adatti a funzionare alla tensione di zener perché il



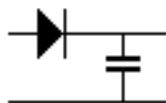
ramo di curva discendente nel terzo quadrante ha una pendenza inferiore. Per i diodi usati come rettificatori, il valore assoluto di  $V_z$  è sempre molto maggiore di  $V_s$ .

Alimentando il diodo in corrente alternata questo fa passare una sola delle due semionde.



Se il segnale che passa attraverso al diodo è modulato in ampiezza, esso subirà lo stesso trattamento e, **se la sua ampiezza è maggiore del potenziale di soglia**, solo una delle semionde passerà oltre il diodo.

All'uscita avremo un segnale ad alta frequenza sommato ad un segnale a bassa frequenza. Per ricostruire il segnale modulante occorrerebbe integrare la funzione temporale che è espressione del segnale d'uscita. A tale scopo si usa un condensatore che con i suoi cicli di carica e scarica simula un'integrazione. A questo punto abbiamo il **segnale modulante**, pronto per essere inviato ad un amplificatore audio o ad una cuffia ad alta impedenza



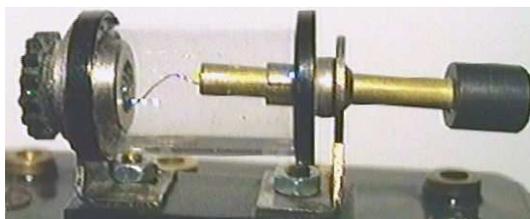
**Con condensatore in parallelo**



### Il rivelatore a galena

Storicamente il rivelatore era formato da un cristallo di galena, un minerale di solfuro di piombo impiegato a livello industriale per l'estrazione del piombo.

Si poneva un filo metallico sottile e appuntito (noto come "baffo di gatto") contro una faccia del cristallo,

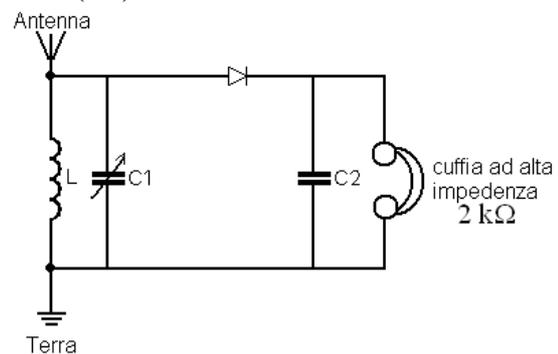


regolandone la pressione si otteneva un effetto di conduzione unilaterale molto simile all'effetto dei più moderni diodi a semiconduttore, che hanno la capacità di condurre gli elettroni in un solo verso. La realizzazione era veramente critica per via della difficoltà a posizionare il “baffo di gatto” con la giusta pressione sul cristallo.

### Schema elettrico

Dopo aver mostrato punto per punto le varie fasi della ricezione del segnale, si può affrontare l'analisi dello schema elettrico che, come già accennato, è molto semplice: esso è formato da soli quattro componenti: un bobina monostrato avvolta in aria (L), un condensatore variabile ad aria (C1), un condensatore fisso (C2) e un diodo.

Dal momento che l'alimentazione dell'apparato deriva esclusivamente dal campo elettrico che si induce sull'antenna, la potenza all'uscita del rivelatore è insufficiente ad alimentare qualunque tipo di altoparlante se non fosse prima amplificata; per amplificare è necessaria un'alimentazione esterna e questo andrebbe contro gli obiettivi del progetto. Per ovviare a questo problema si utilizza una cuffia ad alta impedenza, non di facile reperibilità al giorno d'oggi ma sicuramente idonea all'utilizzo.



Il circuito di sintonia è composto alimentato direttamente dall'antenna ed è costituito da un LC parallelo con il condensatore variabile. L'antenna in questo caso funziona come un generatore di corrente e, per i motivi esposti nei paragrafi riguardanti i circuiti RLC parallelo, quest'ultimo varia la sua impedenza rendendola massima alla frequenza d'accordo; ad un'impedenza massima del circuito corrisponde quindi una tensione picco-picco massima ai suoi capi.

### Dimensionamento dei componenti

Per il progetto abbiamo bisogno di un circuito accordato piuttosto selettivo, per questo non inseriamo alcuna resistenza aggiuntiva in parallelo al circuito LC se non quella della cuffia che presenta una resistenza di carico di circa  $2000\Omega$ .

Dimensioniamo il circuito considerandolo accordato su una frequenza di centro banda: per le onde medie, che vanno da 540 a 1600 kHz, scegliamo 1MHz.

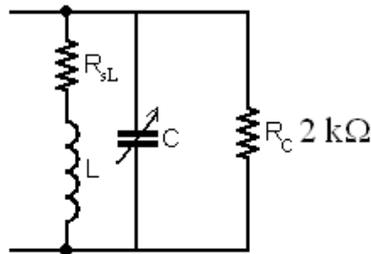
Abbiamo bisogno di una banda passante di 10kHz, come esposto nel paragrafo sulla modulazione d'ampiezza).

A questo punto si può calcolare il circuito risonante a partire dalle seguenti caratteristiche:

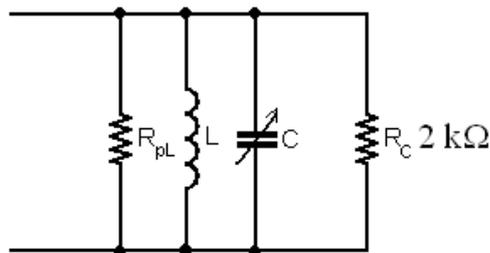
$$f_0 = 1 \times 10^6 \text{ Hz}$$

$$Q = \frac{f_0}{B} = \frac{1 \times 10^6}{10 \times 10^3} = 100$$

Il circuito equivalente del ricevitore può essere schematizzato come a lato.



Rappresentando la  $R_{sL}$  portata alla sua equivalente parallelo  $R_{pL}$  il circuito equivalente diventa:



dove  $R_{pL} = \frac{L}{C \cdot R_{sL}}$ .

Essendo  $R_{sL}$  dell'ordine di alcune unità, per valori di  $L$  e di  $C$  adatti alle frequenze in gioco  $R_{pL}$  risulta dell'ordine di  $10^5$ ,  $10^6$ . Con un carico  $R_C$  pari a  $2 \text{ k}\Omega$ , l'influenza della  $R_{pL}$  è trascurabile per cui nei calcoli successivi non teniamo conto della parte resistiva dell'induttanza.

Riprendendo l'equazione  $Q = R \sqrt{\frac{C}{L}}$  che stabilisce il fattore di merito di un circuito antirisonante si ha

$$\sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{Q}{R} = \frac{100}{2000} = \frac{1}{20} \text{ e quindi } \frac{C}{L} = \frac{1}{400}; L = 400C.$$

Che sostituito nell'equazione della frequenza di risonanza  $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  permette di calcolare il valore della capacità  $C$ :

$$1 \times 10^6 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{400C^2}}$$

$$C = \frac{1}{40\pi \times 10^6} = 0.008 \times 10^{-6} = 8 \times 10^{-9} \text{ F} = 8 \text{ nF}$$

Dalla relazione precedente possiamo calcolare infine il valore dell'induttanza

$$L = 400C = 400 \cdot 8 = 3200 \text{ nH} = 3.2 \mu\text{H}.$$

Una semplice verifica darà conferma di questi risultati:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{3.2 \times 10^{-6} \cdot 8 \times 10^{-9}}} = 995 \times 10^3 \text{ Hz}$$

$$Q = R\sqrt{\frac{C}{L}} = 2 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{8 \times 10^{-9}}{3.2 \times 10^{-6}}} = 2 \times 10^3 \cdot 50 \times 10^{-3} = 100$$

Abbiamo dunque trovato i valori di L e di C per cui il circuito accordato abbia le caratteristiche volute: si ricordi che il fattore di merito è caratteristico della frequenza di risonanza ma è stato già dimostrato che la banda passante resta sempre la medesima, qualunque sia la frequenza d'accordo. La realizzabilità con componenti di tali valori è pressoché nulla: un condensatore variabile ad aria da 8nF sarebbe eccessivamente ingombrante e un induttanza da 3.2μH avvolta in aria sarebbe di costruzione critica; per rendere il progetto realizzabile si può tenere costante il prodotto LC (in modo da non variare la banda di ricezione), diminuendo C e aumentando L con conseguente penalizzazione della selettività.

Nel dopoguerra la radio a galena veniva realizzata con componenti di recupero: il condensatore variabile era di solito di produzione industriale con un valore di circa 350pF. Per l'induttanza si utilizzava del filo ricoperto di uno strato di seta che fungeva da isolante avvolgendo, su supporto inerte, un numero di spire trovato sperimentalmente.

### Costruzione del ricevitore

A scopo dimostrativo è stato riprodotto un prototipo di radio a galena realizzato con materiali



Condensatore da 2000pF per la rivelazione

reperiti in un negozio di radio d'epoca. Il condensatore variabile è una vecchia produzione DUCATI formato da due sezioni: 320 + 380pF, al circuito è stata collegata solo la sezione da 380pF. La cuffia ad alta impedenza è del tipo piezoelettrico e presenta un carico



Diodo al germanio OA72

di circa 2kΩ. Per il rivelatore è stato utilizzato un diodo al germanio tipo OA72 che presenta una tensione di soglia di 0.2V, e un condensatore di vecchia produzione DUCATI da 2000pF proveniente da un televisore anni '60.

Dati questi valori si è proceduto alla determinazione del valore dell'induttanza.

Sapendo che quando il condensatore assume il valore massimo di capacità (380pF con la manopola ruotata verso sinistra) la frequenza di risonanza è minima e la facciamo corrispondere a 500kHz.

$$\text{Per cui } L = \frac{1}{4\pi^2 \cdot f_0^2 \cdot C} = \frac{1}{4\pi^2 \cdot (500 \times 10^3)^2 \cdot 380 \times 10^{-12}} = 266 \times 10^{-6} \text{ H} = 266 \mu\text{H}.$$

Per dimensionare l'induttore si utilizzano le formule di Wheeler:

$$L(\mu\text{H}) = 0,987 \cdot 10^{-2} \cdot N^2 \cdot \frac{d^2(\text{cm})}{l(\text{cm})} \cdot K$$

Scegliendo come supporto un tubo in PVC per impianti elettrici del diametro esterno di 25mm e del filo smaltato del diametro di 0.25mm, con un numero di 145 spire otteniamo un induttanza di 265μH.

Per verificare il fattore di merito alla frequenza di 1MHz bisogna calcolare il valore del condensatore

$$1 \times 10^6 = \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{265 \times 10^{-6} \cdot C}}$$

$$1 \times 10^{12} = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot 265 \times 10^{-6} \cdot C}$$

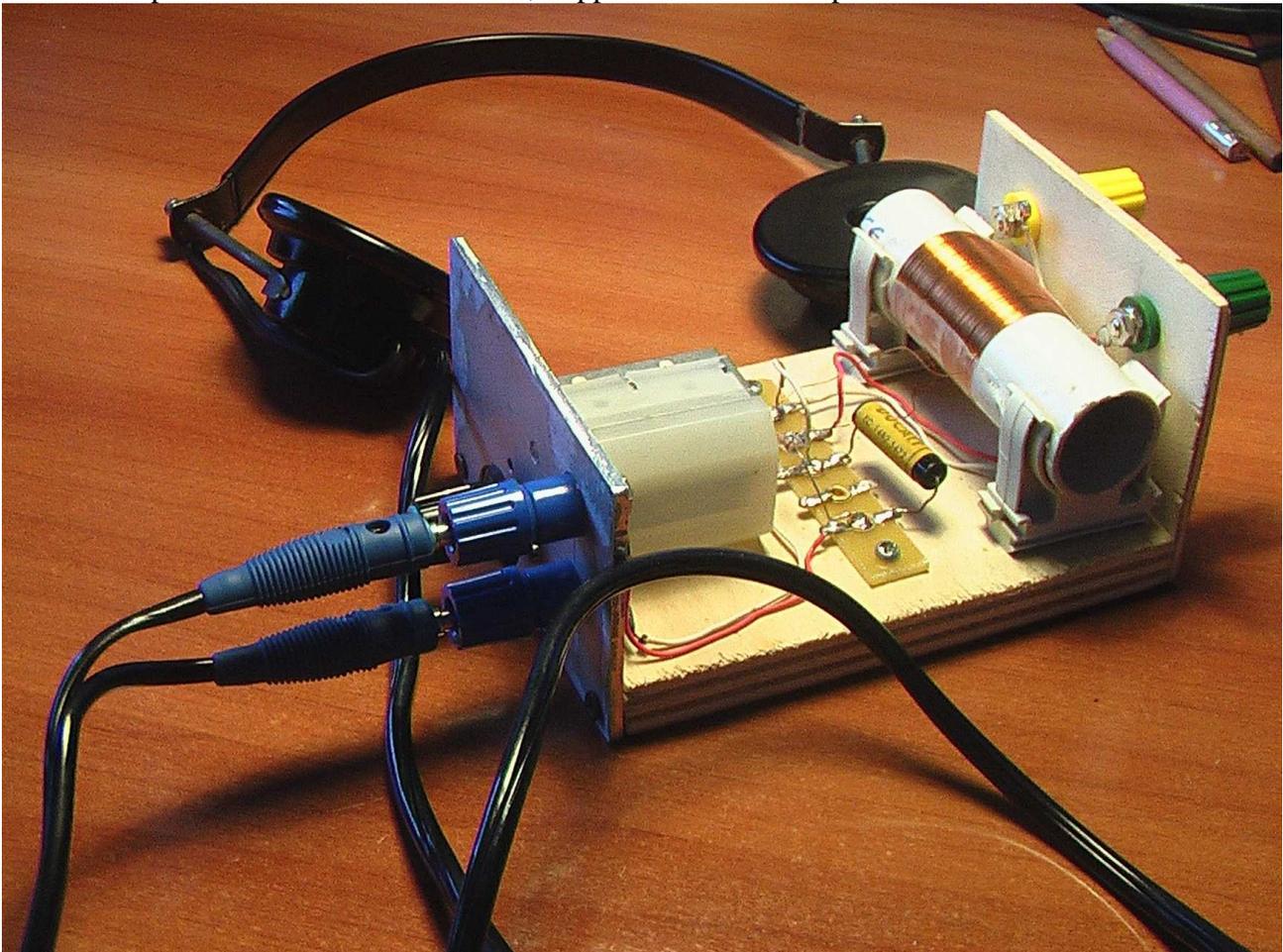
$$C = \frac{10^6}{(4 \cdot \pi^2 \cdot 265) \times 10^{12}} = 9.56 \times 10^{-11} = 95.6 \text{ pF}$$

$$\text{Verifichiamo il fattore di merito: } Q = R \sqrt{\frac{C}{L}} = 2 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{95.6 \times 10^{-12}}{266 \times 10^{-6}}} = 2 \times 10^3 \cdot 6.0 \times 10^{-4} = 1.2$$

Valore lontano dal teorico calcolato, che comunque permette di ascoltare nitidamente qualche stazione più potente (che per altro si sente più o meno forte per tutta l'escursione del condensatore, coprendo le altre stazioni).

Per il collegamento della cuffia, dell'antenna e della terra sono state utilizzate delle boccole a banana e il montaggio è volante (senza circuito stampato) su tavoletta di legno per dare consistenza al progetto.

Assemblato il tutto secondo lo schema elettrico, facendo collegamenti più corti possibili al fine di evitare componenti reattive non calcolate, l'apparecchio finito si presenta così.



Il collaudo si effettua collegando un'antenna a filo lunga almeno 10 metri (non è ragionevole avere un'antenna del tipo *ground plane* lunga  $\frac{\lambda}{4}$ , cioè per una frequenza di 1MHz 75metri).

Il collegamento alla terra può essere eseguito con un comune filo di rame collegato alle tubazioni dell'impianto idrico o di riscaldamento centralizzato.