

L'antenna magnetica

RADIO RIVISTA ha pubblicato qualche anno fa una serie di articoli firmati da I1ARZ sulla realizzazione delle cosiddette "antenne magnetiche", antenne dalle dimensioni fortemente ridotte rispetto alle consuete, ma dalle prestazioni davvero eccezionali, ovviamente considerato, appunto, il loro limitato ingombro e la possibilità di installarle anche in posizione non ortodossa, e cioè su terrazzi, balconi od anche al livello del suolo.

L'articolo che segue spiega la teoria di tale antenne e ci è stato fornito dall'amico Gaston Bertels - ON4WF - per colmare con una trattazione tecnica il vuoto che mancava ad una completa descrizione.

Un po' di teoria

Quando un circuito con induttanza (L) e capacità (C) collegate in parallelo (fig. 1) viene eccitato da un'energia esterna, a radiofrequenza, l'energia elettromagnetica percorre l'induttore L ed il condensatore C ed assume alternativamente la forma di un campo magnetico (durante la fase di corrente nell'induttanza) e di un campo elettrico (durante la fase di tensione al condensatore).

Nelle immediate vicinanze del circuito regna un campo d'induzione elettromagnetica che decresce secondo il cubo della distanza. Un tale circuito però non crea un significativo campo di radiazione, tuttavia se si modifica la struttura del condensatore aumentando la distanza fra le sue armature (fig. 2) e si stira l'induttore in maniera che le due componenti del circuito occupino uno spazio massimo, il prodotto LC rimane inalterato ed il circuito è in grado di produrre una radiazione elettromagnetica in grado di propagarsi nello spazio. Un siffatto circuito prende il nome di "antenna".

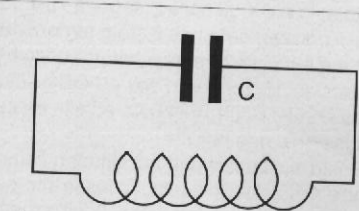
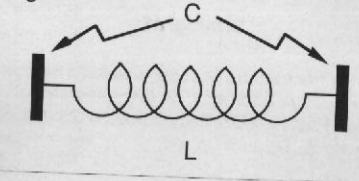


Fig. 1

Fig. 2



Dov'è finita la capacità che avevamo nel circuito? Si è ripartita per tutta la lunghezza dell'induttanza, che è stata stirata sino ad assumere la forma di un filo (fig. 3).

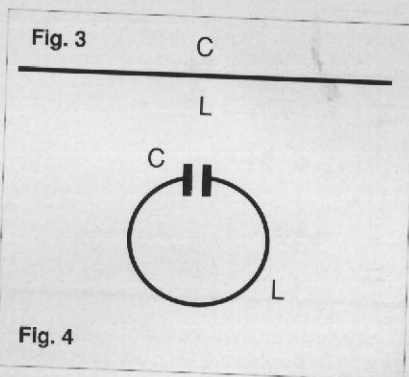


Fig. 4

L'intensità del campo irradiato decresce secondo il quadrato della distanza, in maniera cioè meno rapida di quanto diminuisca il campo d'induzione che sparisce a breve distanza dall'antenna, come abbiamo visto.

Nelle immediate vicinanze dell'antenna, il campo d'induzione è considerevolmente maggiore del campo irradiato, per cui si ha anche interesse a ridurre le perdite provocate da questo potente campo elettromagnetico di prossimità. Si curerà pertanto la distanza fra l'antenna e la terra; in effetti, se questa è troppo vicina, una parte della componente elettrica del campo d'induzione si trasformerà in calore a causa dell'accoppiamento capacitivo con la terra. Questa perdita di energia provoca quindi una corrispondente riduzione del campo utile irradiato.

Si tratta di un fenomeno che ci è familiare: è la ragione per la quale noi piazziamo le nostre antenne quanto più in alto ci è possibile. Più grande è l'antenna, tanto più importante è l'accoppiamento con la terra per una determinata altezza. L'angolo di radiazione è anch'esso influenzato dalla distanza da ter-

ra: un'antenna a dipolo irradia sotto un angolo elevato rispetto alla terra se essa si trova ad un quarto di lunghezza d'onda ($\lambda/4$) da quest'ultima; per ottenere un angolo più basso è necessario portare l'antenna a $\lambda/2$. Questo è un problema che sorge particolarmente nelle bande HF a frequenza più bassa (40, 80, 160 m), ove è difficile raggiungere altezze tali con i mezzi alla portata dell'OM medio.

Per ridurre le perdite occorrerebbe costruire un'antenna con un campo elettrico di prossimità quanto più debole possibile e ciò è possibile concentrando la capacità del circuito in un condensatore, invece che ripartirla per tutta la lunghezza del filo irradiante.

D'altra parte, l'elemento induttore deve occupare uno spazio esteso quanto più possibile, altrimenti non si ha radiazione alcuna. E' per questa ragione che noi abbiamo scelto per radiatore una grande spira unica (fig. 4). In un tale dispositivo il campo elettrico si concentra quasi esclusivamente nel condensatore, mentre quello magnetico si sviluppa su una superficie sufficiente a consentire che irradi.

Con una tale antenna, il campo di prossimità è costituito in maniera preponderante dalla componente magnetica (da ciò il nome). Il campo elettrico di prossimità è assai più ridotto e ciò limita notevolmente le perdite capacitive dovute alla vicinanza della terra e ciò spiega perché un'antenna "magnetica" irradia con efficacia anche a brevi distanze dal suolo, fatto questo assai vantaggioso quando si lavora in HF e soprattutto nelle bande a frequenza più bassa, per le quali una classica antenna "elettrica" sarebbe generalmente ad altezza insufficiente.

La radiazione principale dell'antenna magnetica è nel piano della spira ed in tutte le direzioni (fig. 5). Nelle due direzioni perpendicolari che tagliano tale piano, la radiazione è minima.

Un'antenna magnetica collocata in un piano verticale irraderà dunque sotto tutti gli angoli riferiti al piano di terra e può quindi essere utile sia per collegamenti a breve

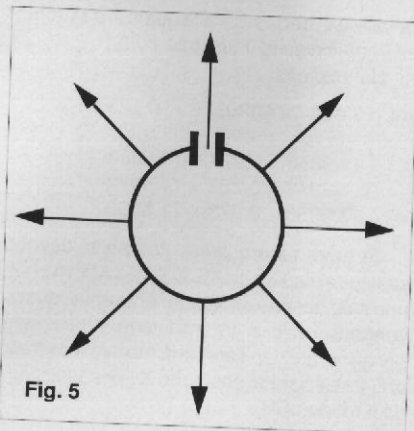
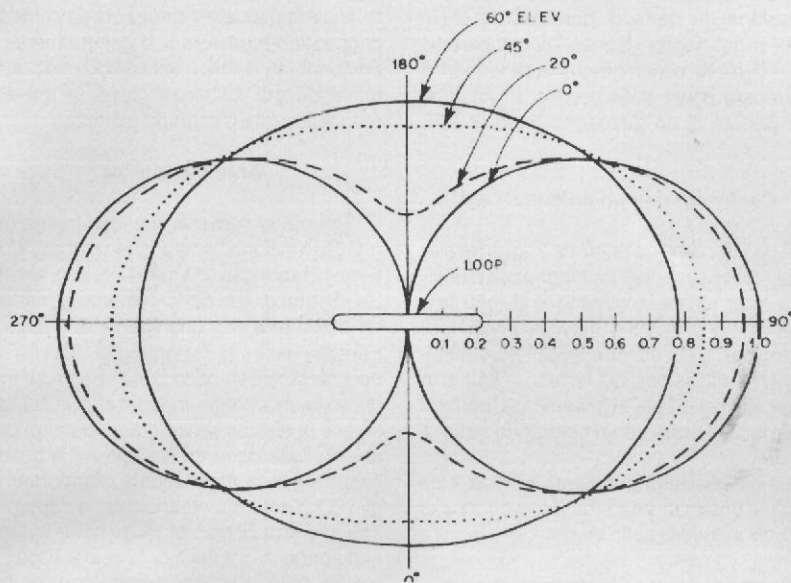


Fig. 5

Fig. 6



con la differenza tuttavia che sotto angoli di irradiazione bassi essa presenta una maggiore direttività. Il relativo diagramma assumerà pertanto la forma di un otto (fig. 6), come un'antenna a dipolo (questa, però, offre una irradiazione maggiore perpendicolarmente all'asse del filo radiante). Più si considera la radiazione sotto angoli maggiormente elevati, più il diagramma dell'antenna "magnetica" diventa ellittico e la direttività diminuisce. Quando l'antenna magnetica è disposta su un piano orizzontale, il suo diagramma di radiazione diviene perfettamente circolare, ma con un angolo ridotto.

In caso di montaggio orizzontale, la polarizzazione è orizzontale; nel montaggio verticale è invece verticale sintanto che la radiazione avviene sotto angoli bassi e diviene orizzontale ad awngoli più elevati.

Proprietà dell'antenna magnetica

Resistenza di radiazione

Uno dei parametri principali di un'antenna è la sua resistenza di radiazione.

Per una antenna magnetica essa si determina come segue:

$$R_r = 391,6 \times 10^{-8} \times (F^2 \times A)^2$$

oppure

$$R_r = 31200 \times (a / \lambda^2)^2$$

ove:

R_r = resistenza di radiazione [Ω]

A = area circoscritta dalla spira [m^2]

F = Frequenza [MHz]

λ = lunghezza d'onda [m]

Esempio: supponiamo di avere un'antenna magnetica del diametro di un metro, accordata su 14,2 MHz.

$$R_r = 391,6 \times 10^{-8} \times (14,2^2 \times 3,14 \times 0,5^2)^2 = 0,098 \Omega$$

La resistenza di radiazione di un'antenna magnetica è, in effetti, assai piccola in paragone a quella di un'antenna elettrica, quelle di tipo classico, per intenderci, che è di circa un centinaio di ohm.

Resistenza di perdita

Un'antenna magnetica irradia dunque sotto una assai piccola resistenza di radiazione l'energia che essa riceve dal trasmettitore. Di conseguenza, le correnti in gioco sono assai elevate e quindi è indispensabile che il conduttore di cui essa è costituita presenti una bassissima resistenza alla radiofrequenza, onde evitare le forti perdite in calore.

La corrente a RF, come è noto, circola solamente nella parte esterna dei conduttori (il cosiddetto "effetto pelle"); per ridurre quindi la resistenza che si oppone al suo passaggio occorrerà scegliere conduttori di grande diametro.

La resistenza di perdita si calcola nel seguente modo:

$$R_p = 90,91 \times 10^{-4} (F_{[MHz]} \cdot G_{[m]} / d_{[mm]})^2$$

ove

R_p = "resistenza di perdita" [Ω]

F = frequenza [MHz]

G = lunghezza del conduttore [m]

d = diametro del conduttore [mm]

Fattore di merito

Le formule qui esposte tengono conto del solo "effetto pelle". Per il rendimento dell'antenna è però importante ridurre le perdite nella capacità e ciò non è affatto semplice, anche perché si tratta di un condensatore "variabile".

L'antenna magnetica rappresenta, in effetti, un circuito con un fattore di merito assai elevato (un Q di circa 1000). Ne risulta una banda passante molto stretta (generalmente qualche kilohertz). Quando è necessario accordare l'antenna su una determinata frequenza di lavoro, come normalmente accade in QSO, occorre cambiare il valore della capacità: ecco perché il condensatore, montato sull'antenna, deve essere variabile e, per comodità, anche telecomandato.

Se si vogliono evitare perdite proibitive nel condensatore, che quindi diviene il cuore dell'antenna, occorre rinunciare ai contatti striscianti, per adottare variabili a "farfalla" (split stator). I due statori vanno quindi collegati ai terminali della spira costituente l'antenna - non con un conduttore qualsiasi (non dimenticate l'effetto pelle), bensì con un conduttore che presenta un'ampia superficie: il rotore (a farfalla, appunto) può ruotare tra i due statori e, non essendo collegato in modo galvanico (cioè con contatto elettrico) ad alcun componente, non ha contatti striscianti che possano dare origine a perdite.

Anche l'isolamento tra le armature riveste grande importanza: infatti, se la spira ha a che fare con forti correnti durante la fase di formazione del campo magnetico, vi sono altresì tensioni elevate tra le armature del condensatore nella fase di formazione del campo elettrico. Per una potenza di 100 W, la tensione al condensatore può raggiungere anche i 25.000 V. L'ideale sarebbe inserire un condensatore sotto vuoto, ma essi sono divenuti di difficile reperimento. Ci dovremo quindi accontentare di un condensatore ad aria a grande spaziatura fra le piastre, diciamo di almeno 10 mm, per quello fisso o semifisso, e di 5 mm per quello variabile di tipo a farfalla (poiché la tensione fra rotore e statore è la metà di quella fra i due statori). Tale complesso, come detto, costituisce il cuore del sistema e non lo si trova facilmente per strada, né nei negozi; è quasi gioco forza costruirselo da sé e l'autore di queste note ha fatto proprio così.

Rapporto L/C

Per una data frequenza di lavoro, più l'antenna è grande, tanto più è efficace.

Vi è tuttavia un limite: infatti se si aumenta il diametro della spira, occorre diminuire la capacità per conservare la frequenza di accordo; ma il condensatore non deve divenire troppo piccolo per non far perdere all'antenna la sua qualità di "magnetica".

Il massimo dell'efficienza lo si raggiunge per una lunghezza del conduttore uguale ad un quarto della lunghezza d'onda.

Forma della spira

Ricordiamoci che l'elemento induttore di un'antenna magnetica deve occupare uno spazio abbastanza esteso, come dianzi detto. Per una linea di una data lunghezza, posta in modo da circoscrivere una certa area, la forma circolare è quella che presenta la maggiore superficie.

Confrontiamo la superficie circoscritta da un conduttore di una determinata lunghezza, posta in modo da formare un cerchio, con quella posta in modo da formare un quadrato.

Supponiamo un cerchio del diametro di un metro (e cioè un raggio di 0,5 m). Calcoliamo la circonferenza.

$$U = 2 \times 3,14 \times R = 2 \times 3,14 \times 0,50 = 3,14 \text{ m}$$

Calcoliamo la superficie.

$$S = 3,14 \times R^2 = 3,14 \times 0,5^2 = 0,785 \text{ m}^2$$

Se disponiamo quei 3,14 metri di filo in modo da formare un quadrato, avremo:

$$\begin{aligned} \text{Lunghezza di ogni lato:} \\ 3,14 : 4 = 0,785 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Superficie del quadrato:} \\ 0,785 \times 0,785 = 0,616 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Il rapporto di superficie è di 0,616 / 0,785 e cioè 0,785 quindi più del 20% in meno.

Una eventuale disposizione a rettangolo sarebbe ancora più sfavorevole. Per contro, una figura geometrica che si avvicini il più possibile al cerchio (ad esempio un ottagono) non introdurrebbe che poche perdite in superficie: quando la realizzazione pratica della spira impone la scelta di una figura poligonale, la forma ottagonale è la più conveniente.

Efficienza

Qual è l'efficienza di questa antenna in rapporto alle altre conosciute?

Confronto con il radiatore isotropico

Il radiatore isotropico è un'antenna teorica, collocata nello spazio, ben lontana da terra e da ogni oggetto riflettente, che irradia in modo sferico e senza perdite l'energia che riceve.

In rapporto ad un tale radiatore l'antenna magnetica presenta un guadagno teorico di 1,75 dBi (la "i" dopo "dB" sta per "isotropico") nel piano della massima radiazione, tuttavia se l'antenna è montata in prossimità di un

piano di terra idealmente conduttore, possono essere aggiunti altri 6 dB dovuti alla riflessione da parte di quest'ultimo e ciò porta il guadagno (teorico) a complessivi 7,75 dB, da cui occorre detrarre almeno 3 dB per tenere conto delle perdite. In totale si può parlare di un guadagno netto di 4,75 dBi.

Confronto con un'antenna Yagi

Consideriamo un'antenna Yagi di tre elementi collocata a mezza lunghezza d'onda sulla terra ideale. Il guadagno di una tale antenna è di circa 6,5 dBi (cioè sul radiatore isotropico), a cui occorre aggiungere altri 6 dB per la riflessione del terreno e sottrarre almeno altri 3 dB per le immancabili perdite: avremo a che fare su un guadagno netto di 9,5 dBi.

La differenza di guadagno tra una Yagi (alta) ed una magnetica (bassa) è dunque di 4,75 dB in favore della beam.

Confronto con un'antenna a dipolo

Un'antenna a dipolo presenta un guadagno di 2,15 dBi (cioè sul radiatore isotropico). Se essa è collocata a mezza lunghezza d'onda sulla terra ideale, occorre aggiungere altri 6 dB per la riflessione di quest'ultima; sottrarre poi altri 3 dB per le perdite ed avremo 2,15 + 6 - 3 = 5,15 dBi.

Una buona antenna magnetica (4,75 dBi) avrà quindi una efficienza assai prossima a quella di un dipolo ideale (5,15 dBi).

Confronto fra le bande

Nelle bande decametriche superiori (10, 15 e 20 m) è relativamente facile realizzare antenne classiche, quali Yagi e dipoli, ad un'altezza sufficiente per ottenere un assai buon rendimento. In tali bande il vantaggio che ci si può attendere dalle antenne magnetiche è d'ordine pratico, perché esse funzionano bene, collocate anche al suolo ed in poco spazio. Nelle bande HF inferiori (40, 80 e 160 m) la costruzione di una buona antenna del tipo consueto è assai difficile. Ecco perché un'antenna magnetica offrirà risultati altrettanto buoni, se non addirittura superiori, in qualche caso, di antenne filari che, solitamente non possono essere collocate bene in altezza.

Vantaggi

L'antenna magnetica presenta una banda passabile assai stretta. In ricezione essa funziona come un filtro di selezione dei segnali indesiderati eventualmente presenti su frequenze vicine a quella di lavoro. Tale "strettezza" di banda è altresì un vantaggio in trasmissione, perché si avranno meno rischi di TVI. In virtù delle sue proprietà

magnetiche, questa antenna è poco sensibile ai disturbi elettrici generati dall'ambiente. Nelle immediate vicinanze della sorgente di queste perturbazioni, è generalmente la componente elettrica del campo che predomina: questa influenza meno un'antenna magnetica, di un'antenna elettrica.

Antenne interne

Spesso si sostiene che un'antenna magnetica funziona bene anche se posta all'interno di fabbricati: ciò non è del tutto esatto. Se si tratta di edificio in cemento armato, si ha a che fare con una specie di gabbia di Faraday e la radiazione che riuscirà ad uscirne sarà ben poca cosa, anche se irradiata da un'antenna magnetica. Se si tratta invece di edificio senza grandi parti metalliche, la radiazione è possibile ed in questo caso l'antenna magnetica si comporta meglio di un'antenna elettrica; ciò a causa del suo inferiore campo di prossimità (come è stato detto in apertura di questo articolo), a motivo delle più basse perdite negli oggetti circostanti. Vi saranno tuttavia sempre delle perdite; la vicinanza delle parti in muratura tende d'altra parte a ridurre il fattore di merito del circuito LC ed a rendere meno acuta la curva della banda passante e cioè, per un'antenna magnetica, è sempre un cattivo segno. Ecco perché l'antenna magnetica, come ogni antenna, funzionerà meglio all'esterno che all'interno di un'edificio.

Bibliografia

- Radio Engineers Handbook, Terman, McGraw Hill, 1943, p. 813
- Antennenbuch, Rothammel, Y21BK, 1988, pp. 372-378
- CQ-DL 9/82, p. 435 :Rahmenantenne - keine Wunderantenne - aber ein Ding mit Pfiff! DF3IK, DF7IL, DJ2RN
- QST June 1986, p. 33: Small, High-Efficiency Loop Antennas, W5QJR
- Radio Communication, oct. 1986, p. 705: Technical Topics, G3VA - Magnetic small loop antennas
- CQ-DL 7/87, p. 422: Eine Kurzwellen-Rahmenantenne für 7 MHz bis 21 MHz, DL5FBX
- CQ-DL 6/88, p. 365 :QRV auf dem Balkon von 3,5 bis 28 MHz? DL5FBX
- Magnetische Antennen AMA, DK5CZ, Käferlein, Darmstadt
- Cap.Co Electronics Ltd, G4OGP.

Consigliamo infine la consultazione dei seguenti articoli

- **Radio Rivista** 1, 2, 3, 4, 5/1988 e 12/1989: **Le antenne magnetiche**, R. Craighero I1ARZ.
- **Radio Rivista** 7/1991: **Loop ad irradiazione magnetica**, S. Clauser IV3RLL