

Realizzazione di una MicroStrip Antenna per apparati SRD in banda 868 MHz

Restori Fabrizio, I4NKF, i4nkf@radiomakers.it

Gli apparati Short Range Devices (SRD) funzionanti su bande libere sono, generalmente, equipaggiati con antenne interne o esterne omnidirezionali. In alcune occasioni è utile ricorrere ad antenne più performanti e direttive in quanto, a parità di potenza e.r.p. (Effective Radiated Power), una antenna direttiva presenta vantaggi:

- il guadagno di antenna consente una pari diminuzione della potenza erogata dal dispositivo migliorando il bilancio energetico e la durata della batteria, qualora presente;
- minori disturbi ricevuti dal dispositivo;
- minore interferenza verso altri dispositivi;

di contro il maggior costo dell'antenna e la necessità del suo orientamento alla installazione del dispositivo.

In questo articolo è descritta la realizzazione di una MicroStrip Antenna (MSA), conosciuta anche come Patch Antenna.

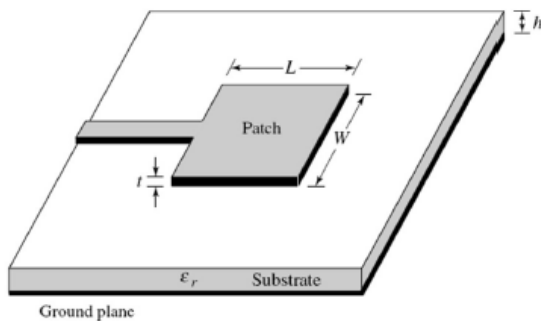
MSA Antenna.

L'antenna è costituita da un piano di massa, idealmente di dimensione infinita, e da un elemento radiante, anch'esso piano, separato dal primo da un dielettrico, aria o altro materiale. L'elemento radiante può assumere diverse forme, in questo articolo è stata presa in considerazione la forma rettangolare.

Nella maggior parte dei casi, il supporto è una lastra a doppia faccia per circuito stampato, questo rende semplice la realizzazione facilitandone la riproduzione, il basso ingombro e una buona resistenza a shock e a vibrazioni.

Di contro una antenna MSA ha una banda passante stretta (dal 2% al 10% del centro banda) ed è sensibile alle condizioni ambientali (temperatura e umidità) se non adeguatamente protetta.

L'antenna realizzata ha elemento radiante di forma rettangolare.



Il dielettrico ha spessore h ed è caratterizzato dalla costante dielettrica e dal fattore di perdita ($\tan\delta$). L'elemento radiante ha spessore t lunghezza L e larghezza W . L e W hanno dimensione dell'ordine della mezza lunghezza d'onda, rapportata al fattore di velocità del dielettrico ϵ_e .

L'antenna può essere analizzata come una linea di trasmissione oppure come cavità di risonanza con perdite (formata nel volume fra i due conduttori).

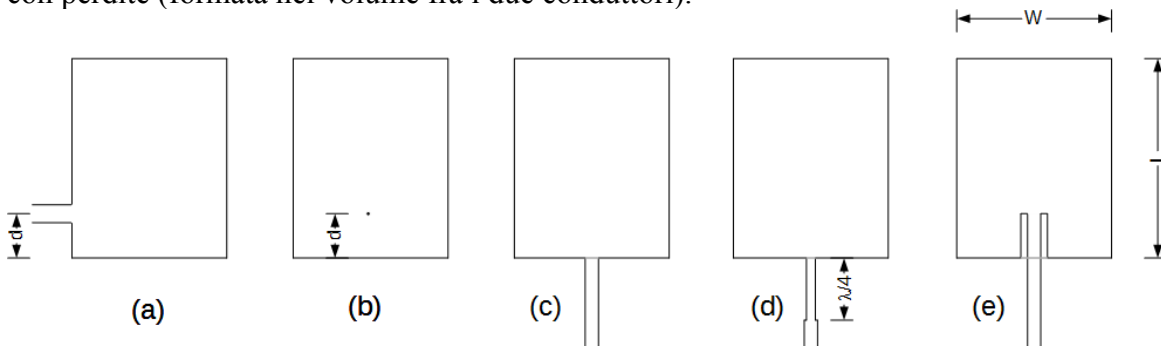
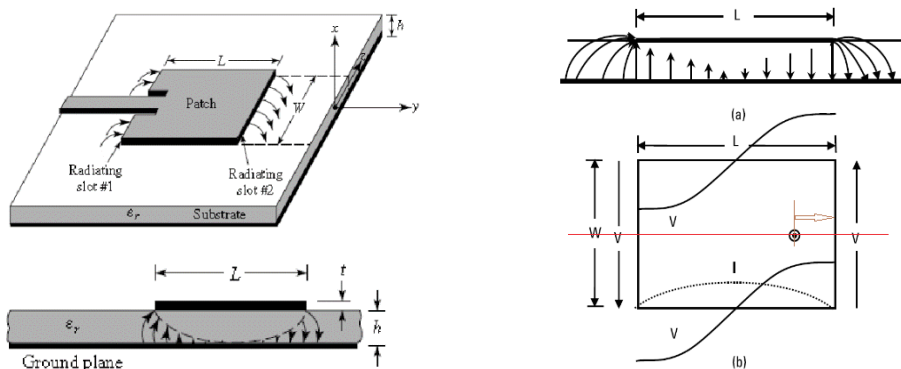


Figura 1. Modi di alimentazione della Patch Antenna.

L'alimentazione dell'antenna può essere fornita in diversi modi, come rappresentato in Figura 1:

- attraverso una microstriscia sul lato non radiante (a);
- coassiale “coaxial probe feed” (b) connesso in un punto medio, nella direzione L;
- attraverso una microstriscia sul lato radiante (c);
- attraverso una microstriscia sul lato radiante (W) e trasformatore di impedenza a $\lambda/4$ (d);
- attraverso una microstriscia sul lato radiante che ‘penetra’ nel pannello (e) in un punto di impedenza desiderata (W);
- altri modi, anche indiretti, che possono anche consentire modi differenti, ad esempio la polarizzazione circolare.

La MSA può essere analizzata in vari modi. Con modello a linea di trasmissione l'elemento radiante è visto come una linea larga W il cui campo elettrico varia solo nella lunghezza (L) ed è costante nella direzione ortogonale (W). Gli estremi della lunghezza possono essere visti come due slot radianti. La radiazione avviene principalmente alle estremità in corrispondenza di ‘frange’ (fringing, il campo varia solo lungo la lunghezza) dove il campo elettrico non è confinato all'interno dei due piani. Queste frange possono anche essere viste come un allungamento virtuale (Δl) della lunghezza fisica (L). Questo modello semplificato non consente di analizzare tutte le possibili configurazioni del campo, ma è ampiamente usato e fornisce buoni risultati.



La distribuzione della corrente, nella dimensione L, vede un massimo al centro del pannello ed è nulla agli estremi. La tensione è massima agli estremi e nulla al centro. Questo consente l'individuazione un punto di impedenza che varia da 0 ad un massimo, tipicamente lungo la linea mediana nella direzione di L. L'impedenza, $Z=V/I$, è nulla al centro e massima sul bordo radiante del con valore tipico di qualche centinaio di ohm. Questo consente ampia scelta di alimentazione dell'antenna con una microstriscia a 50 ohm individuando il punto interno o adattando l'impedenza che si presenta sul bordo (e) o dal bordo attraverso una adeguata linea a $\lambda/4$ (d) o semplicemente

con un cavo coassiale entrante nel piano di massa dove la calza viene collegata e centrale connesso al piano radiante (b), solo per citarne alcuni modi.

Diversi testi, anche reperibili on-line, riportano formule per la progettazione della MSA [1], che sono di seguito riassunte:

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$\frac{\Delta l}{h} = \frac{(\varepsilon_e + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264\right)}{(\varepsilon_e - 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,8\right)} \quad (2)$$

$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\varepsilon_e}} - 2\Delta l \quad (3)$$

$$W = \frac{c}{2f_r} \left(\frac{\varepsilon_r + 1}{2}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$G_1 = 0,00836 \frac{W}{\lambda_0} \quad (5)$$

$$B_1 = 0,01668 \frac{\Delta l W}{h \lambda_0} \varepsilon_e \quad (6)$$

$$Z_0 = \frac{1}{2G_1} \cos^2(\beta d) \quad (7)$$

$$Z_0 = \frac{1}{2G_1} \cos^4(\beta d) \quad (8)$$

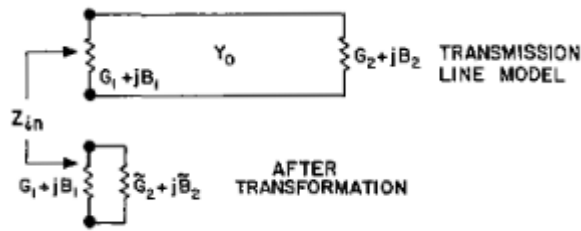
Il campo elettromagnetico interessa in parte il substrato con costante dielettrica ε_r e in parte l'aria, per questo motivo viene corretto il valore di costante dielettrica e utilizzato il valore ε_e (1). La discontinuità del dielettrico impedisce l'istaurarsi di modi TEM puri.

La larghezza (W) dalla patch può essere stimata con la formula (4) ed è dell'ordine di $\lambda/2$ tenendo in considerazione una correzione della costante dielettrica. L'ampiezza W influenza poco la risonanza dell'antenna, mentre concorre a determinarne l'impedenza di alimentazione.

La lunghezza (L) è calcolata con la (3) dove, alla dimensione $\lambda/2$ calcolata in funzione del dielettrico ε_e , sono sottratte le frange (Δl) determinate dalla (2), che virtualmente allungano la microstriscia.

Le equazioni (5) e (6) forniscono un a stima della conduttanza e della suscettanza della microstriscia sul bordo radiante. I due estremi radianti, con ammettenza pari a $Y_1=G_1+jB_1$ e $Y_2=G_2+jB_2$ (si ricorda che l'ammettenza è il reciproco della impedenza $Y = 1/Z$), risultano essere in parallelo, quindi l'ammettenza totale per la microstriscia è $R_{in}=2G_1$

Il modello è il seguente [2], l'eccitazione dei due slot, agli estremi di L, è sfasata di 180° per cui:



dove

$$\tilde{G}_2 + j\tilde{B}_2 = G_2 - jB_2 \quad e \quad G_2 = G_1 \quad e \quad B_2 = B_1$$

$$Y_{in} = (G_1 + jB_1) + (G_1 - jB_1) = 2G_1$$

Questa è una approssimazione che trascura la mutua ammettenza (i due lati radianti si influenzano l'uno con l'altro). Le valutazioni relative all'impedenza al bordo R_{in} [3] portano alla (7) utile a stimare la distanza d, dal bordo, luogo di impedenza pari a Z_0 . Altri testi [4] indica la (8) come una migliore approssimazione. In merito alla impedenza, va ricordato che idealmente il piano di massa è infinito. In realtà le dimensioni del piano di massa sono spesso circa il doppio della dimensione del piano radiante, questo (ed altre approssimazioni) rende critica la determinazione del corretto valore di impedenza.

Lo spessore dello strato conduttore e le perdite nel dielettrico incidono principalmente sulla efficienza dell'antenna e poco sulla sua risonanza.

Realizzazione.

L'antenna è stata realizzata per la frequenza di 868 MHz e fatta su un supporto FR4, un materiale composito in tessuto di fibra di vetro, la classica vetronite usata per circuiti stampati, con spessore di 1,6 mm e costante dielettrica nominale di 4.8. Purtroppo, questo materiale può avere caratteristiche che variano sensibilmente da produttore a produttore, variazione poco significativa a frequenze basse ma non sempre trascurabile quando la frequenza aumenta. Inoltre, la costante dielettrica diminuisce con la frequenza. Per questa realizzazione è stato scelto il valore di 4,2.

Le formule portano alle seguenti dimensioni in metri: $W = 0,077$, $L = 0,084$, $d = 0,023$. La dimensione W ha ampia discrezionalità. Il piano di massa è di $0,160 \times 0,160$. Le misure, per comodità, sono arrotondate al millimetro. Nella realizzazione pratica può essere conveniente mantenere le dimensioni leggermente maggiori, questo porta ad una risonanza a frequenza minore di quella progettata e permette la taratura dell'antenna riducendo, con un cutter o qualche altro strumento, piccole strisce nella dimensione L. Se la frequenza di risonanza è troppo alta, la dimensione L va aumentata saldando, ad esempio, agli estremi una strisciolina di rame.

L'antenna è stata realizzata partendo dal supporto FR4 a doppia faccia di 160×160 mm, la superficie radiante è stata disegnata direttamente sulla lastra e le parti di rame da non rimuovere sono state protette con del semplice nastro, poi il rame non protetto è stato rimosso con una adeguata soluzione. Questo metodo non è molto preciso, ma in compenso pratico. L'alimentazione all'antenna è fornita con un connettore SMA saldato direttamente sul piano di massa e con il centrale al piano radiante. La misura d, distanza dell'alimentazione dal bordo, di 23 mm, ottenuta dalle formule si è rivelata eccessiva. La distanza corretta, indicata dalla simulazione, è di 16 mm.

Simulazione.

L'antenna è stata simulata utilizzando Matlab¹, un ambiente per il calcolo numerico che dispone di dello strumento “antenna toolbox”, utile ad analizzare diverse tipologie di antenna. Con Matlab è possibile definire le dimensioni di una MSA e verificarne il comportamento in funzione della frequenza: Utilizzando le dimensioni precedentemente individuate, sono stati ricavati i seguenti comportamenti:

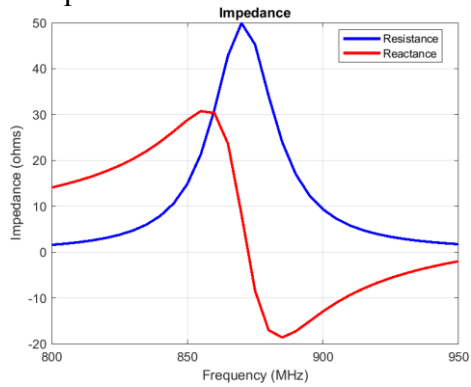


Figura 2. Impedenza in funzione della frequenza.

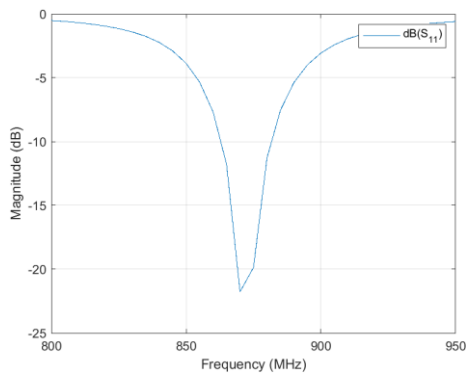


Figura 3. Return Loss

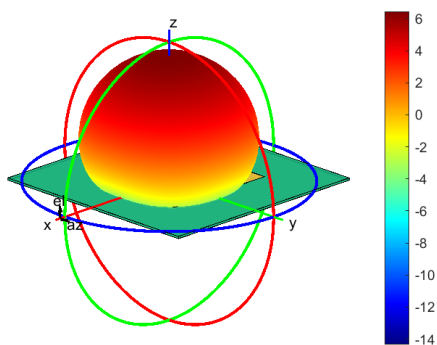


Figura 4. Diagramma di radiazione 3D

¹ <https://it.mathworks.com/products/matlab.html>

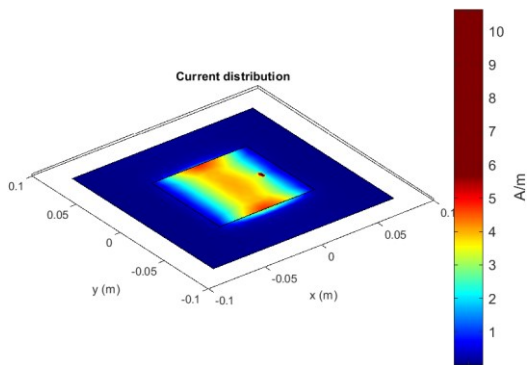


Figura 5. Distribuzione corrente sull'elemento radiante.

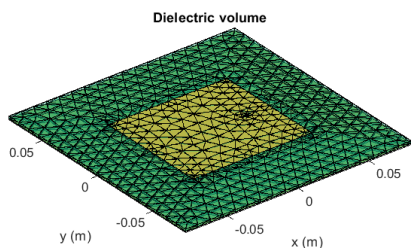


Figura 6. Mesh

Solo a titolo indicativo, la Figura 5 visualizza come il simulatore suddivide l'antenna in aree triangolari, per poi applicare ad ogni singolo triangolo le equazioni che risolvono i campi. Da notare come in punti di discontinuità, dove la variazione delle grandezze elettriche calcolate è maggiore, la suddivisione è più fine per migliorare la precisione della simulazione.

Prove.

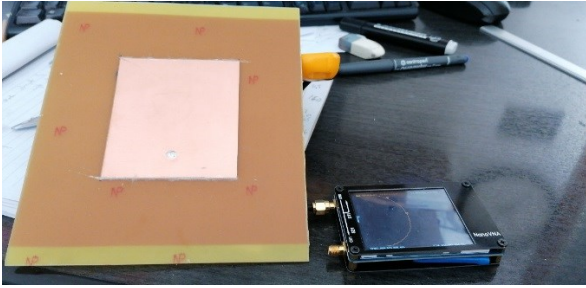
L'antenna è stata testata utilizzando il NanoVNA, uno strumento economico, ma abbastanza preciso ed utile per le valutazioni del caso.

Visto il modo poco preciso di erosione de rame, l'antenna è risultata un poco lunga e le misure lo hanno evidenziato



L'antenna risuonava circa 15 MHz in basso rispetto a quella frequenza desiderata (868MHz). Visto che una MSA ha banda passante relativamente stretta si è ritenuto importante aggiustarne la frequenza, di conseguenza il piano radiante è stato accorciato con un cutter (circa 1 mm per lato). Dopo una rifinitura della lunghezza dell'elemento radiante la risonanza è di 868.500MHz con un ottimo valore di SWR.

Nella figura che segue l'antenna realizzata.



Conclusioni

I parametri calcolati sono stati confermati nei test sulla antenna realizzata. Più critico sembra essere il calcolo del punto di alimentazione, punto individuato correttamente attraverso la simulazione. I calcoli hanno portato a valori di impedenza più bassi di quelli desiderati, almeno in questo caso, e la formulazione con \cos^4 sembra portare a valori migliori. Una soluzione può essere un metodo partico per l'individuazione del punto di alimentazione dopo la realizzazione dell'antenna.

L'andamento del Return Loss e del diagramma di Smith ottenuto con il NanoVNA indicano chiaramente la risonanza dell'antenna. Occorrono, però, ulteriori verifiche. Una antenna con impedenza corretta non è garanzia di un buon funzionamento, del resto anche un carico fittizio ha un buon rapporto di onde stazionarie. Il passo successivo, sviluppato parzialmente e da completare, è capire quanto l'antenna guadagna. La simulazione riporta un guadagno di 6,4 dBi. Un primo veloce confronto con una antenna a gommino, che in sostanza è un dipolo verticale, indica un guadagno di 1-2 dB, meno dei 4,3 dB attesi (il dipolo guadagna 2,1 dBi). Le prove però sono state sommarie e occorre quindi un approccio meglio organizzato, previsto prossimamente. Per facilitare la determinazione delle dimensioni, è stato realizzato un foglio di calcolo con le varie formule descritte. Il punto di inserimento non è esplicitamente calcolato, mentre è calcolata la impedenza in tale punto. Per ottenere facilmente la distanza d , del punto di inserzione dal bordo radiante, si può usare il risolutore del foglio di calcolo.

Opere citate

- [1] R. Bancroft, Microstrip and Printed Antenna Design, Scitech Publishing, inc., 2006.
- [2] K. R. CARVER e J. w. MINK, «Microstrip Antenna Technology,» IEEE, Gennaio 1981. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1142523>.
- [3] A. G. DERNERYD, «A Theoretical Investigation of the Rectangular Microstrip Patch Antenna,» 1977. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/3014619_A_Theoretical_Investigation_of_the_Rectangular_Microstrip_Patch_Antenna_Element.
- [4] R. Ghatak e M. Pal, «Revisiting Relations for Modeling the Input Resistance of a Rectangular Microstrip Antenna,» 2015. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7274817>.