

## ASSORBITORI COMPATTI A MICROONDE REALIZZATI CON METAMATERIALI

F. Bilotti, A. Alù, A. Toscano, L. Vegni

Dipartimento di Elettronica Applicata, Università degli Studi Roma Tre  
Via della Vasca Navale 84, 00146 Roma  
bilotti@uniroma3.it

### Abstract

*Following the recent idea and results concerning the development of a miniaturized microwave absorber made of metamaterials [1]-[4], here we present an extended theoretical and numerical analysis of this setup. The formulation is based on the equivalent transmission line network representation of the proposed absorber and on the assumption that metamaterials may be represented as isotropic media described by simple dispersion models. This theoretical approach is validated through a full-wave numerical analysis, confirming the effectiveness of the absorber in terms of size reduction. The proposed analysis allows also to give some interesting physical insights into the operation mechanism of the component. Some applications of the designed absorbers in the field of antennas and radar absorbing materials are also presented. Finally, ideal metamaterials are replaced by real-life inclusion-made materials and the design is conducted in order to have the desired bandwidth and isotropy properties. Some absorber samples are being realized and characterized in cooperation with some companies. Preliminary experimental results will be hopefully available at the time of the conference.*

### INTRODUZIONE

Gli assorbitori a microonde trovano applicazione in diversi ambiti sia di tipo militare sia di tipo civile. Vengono utilizzati tipicamente come: a) materiali radar assorbenti (RAM) per la copertura di oggetti le cui dimensioni sono grandi rispetto alla lunghezza d'onda al fine di ridurre la segnatura radar; b) materiali strutturali per la realizzazione di piattaforme con ridotta visibilità elettromagnetica; c) materiali per la riduzione dell'interferenza elettromagnetica causata da radiatori disposti nelle vicinanze di circuiti integrati. Per tutte queste applicazioni è necessario che gli assorbitori siano molto sottili rispetto alla lunghezza d'onda, così da poter preservare la compattezza dell'intera struttura. Altre caratteristiche importanti degli assorbitori a microonde sono legate alla larghezza di banda in frequenza, alla larghezza di banda angolare, alla indipendenza dalla polarizzazione del campo incidente e alla possibilità di avere un comportamento il più possibile indipendente rispetto al tipo di oggetto da coprire. Non tutte le caratteristiche ora elencate possono essere ottenute contemporaneamente e ci sono dei limiti teorici ai quali gli assorbitori devono soddisfare [5]. Il progetto di un assorbitore, pertanto, dipende dal tipo di applicazione per la quale esso deve essere impiegato. Ciò significa che alcune caratteristiche devono essere sacrificate al fine di ottenerne altre che si ritengono maggiormente utili per l'applicazione d'interesse. Alla luce di ciò, è importante concepire assorbitori che possano avere, per quanto è possibile, le massime prestazioni rispetto alle singole caratteristiche precedentemente elencate.

In questo ambito un'interessante possibilità è offerta dall'impiego di metamateriali con parte reale negativa della permeabilità e/o della permittività. Tali materiali artificiali,

costituiti da inclusioni le cui dimensioni e spaziatura sono molto piccole rispetto alla lunghezza d'onda, si sono dimostrati di recente particolarmente utili al fine di ridurre le dimensioni dei componenti a microonde risonanti, le cui dimensioni tipiche dipendono dalla lunghezza d'onda alla frequenza di lavoro [6].

### IDEA DI BASE E RELATIVA ANALISI ELETTROMAGNETICA

È stato mostrato di recente che l'accoppiamento di lamine piane di metamateriali coniugati può risultare utile ai fini di ottenere effetti di trasparenza completa, quale che sia la polarizzazione e la direzione di propagazione del campo incidente e quale che sia la dimensione totale della doppia lamina [7]. La spiegazione di ciò risiede nell'insorgere di una risonanza superficiale all'interfaccia tra i due metamateriali. L'idea alla base del progetto dell'assorbitore in questione è quella di porre tra le due lamine risonanti un film resistivo (Figura 1a), analogo a quelli che vengono usati negli schermi assorbenti tradizionali di Salisbury [8], così da assorbire l'energia elettromagnetica in corrispondenza della massima ampiezza del campo elettrico, come già mostrato in [1]-[3]. Sebbene l'idea alla base sia estremamente semplice, non è banale progettare il componente così da perturbare il meno possibile la risonanza all'interfaccia tra i due metamateriali quando si pone il film resistivo nel mezzo. Facendo uso di un modello a linea di trasmissione e assumendo in prima approssimazione che i metamateriali siano descritti da relazioni costitutive di tipo isotropo e non dispersivo si trova che il film resistivo da impiegare è esattamente lo stesso di quello impiegato negli schermi di tipo Salisbury. Le formule analitiche di progetto che restituiscono lo spessore delle singole lamine e il valore dei parametri elettromagnetici costitutivi dei due metamateriali differiscono da quelli utilizzati in [7] per ottenere la trasparenza in assenza del film resistivo e sono state presentate di recente in diverse conferenze internazionali [1]-[3] (tali formule non vengono riportate qui per mancanza di spazio). Una volta introdotti gli effetti dispersivi necessari per descrivere il comportamento in frequenza dei metamateriali si è proceduto a simulare il comportamento elettromagnetico degli assorbitori tramite codici numerici commerciali di tipo full-wave (Figura 1b).

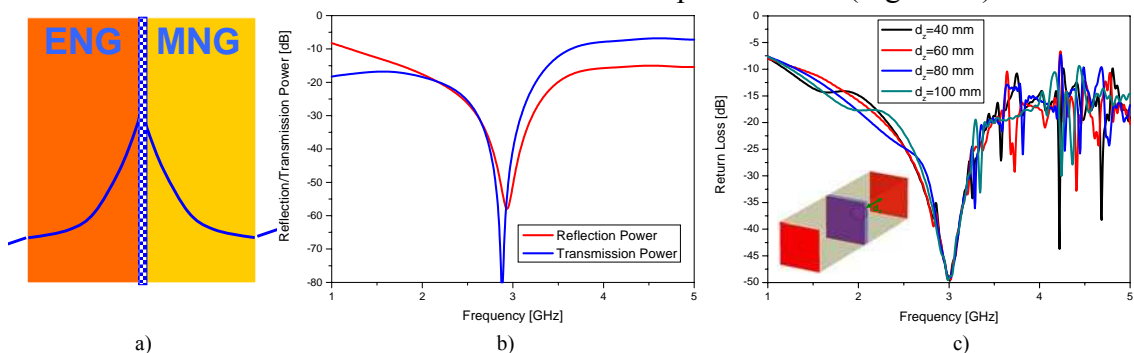


Figura 1 a) Schema di principio dell'assorbitore proposto. b) Caratteristiche in riflessione e trasmissione per incidenza normale di un assorbitore di spessore totale parti a  $\lambda_0/10$  ( $d_1=1$  mm,  $d_2=9$  mm,  $\epsilon_1=-1@3$  GHz – dispersione di Drude,  $\mu_2=-10@3$ GHz – dispersione di Lorentz). c) Caratteristiche di riflessione dell'assorbitore al variare della posizione di un oggetto metallico (sfera) posto dietro e risonante a 3 GHz.

I risultati numerici ottenuti verificano appieno il modello teorico e mostrano che gli assorbitori progettati presentano interessanti proprietà: 1) le caratteristiche di assorbimento sono indipendenti da posizione e materiale costitutivo dell'oggetto da coprire (Figura 1c); 2) lo spessore dell'assorbitore può essere piccolo a piacere rispetto alla lunghezza d'onda (nelle realizzazioni pratiche lo spessore è limitato dallo spazio

necessario per ospitare le inclusioni che caratterizzano il metamateriale); 3) le caratteristiche di assorbimento sono indipendenti dalla polarizzazione e dall'angolo d'incidenza dell'onda piana che incide sul componente (Figure 2a e 2b); 4) la larghezza di banda dell'assorbitore dipende dallo spessore e dalle caratteristiche di dispersione del metamateriale ed è comunque superiore a quella di uno schermo assorbente tradizionale di tipo Salisbury (Figure 3a e 3b).

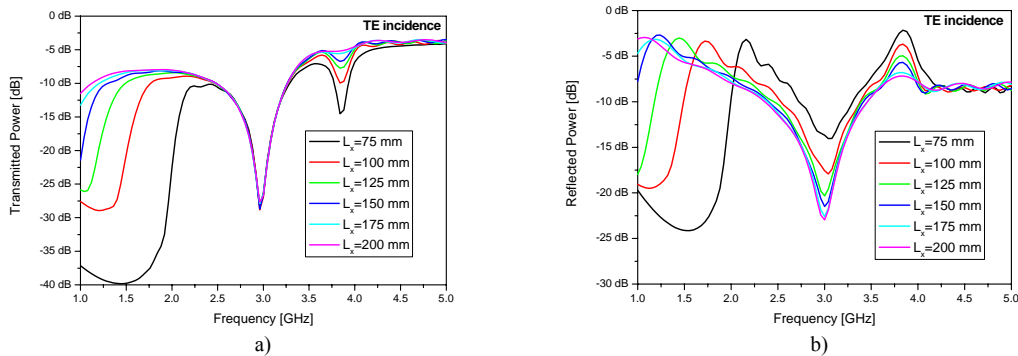


Figura 2 Caratteristiche di trasmissione e riflessione dell'assorbitore al variare dell'angolo di incidenza nel caso di polarizzazione TE. Per la polarizzazione TM le caratteristiche sono analoghe. Al fine di simulare la variazione dell'angolo d'incidenza l'assorbitore è stato posto in una guida d'onda rettangolare della quale è stata variata la lunghezza del lato. La frequenza di cut-off del modo guidato è ben visibile.

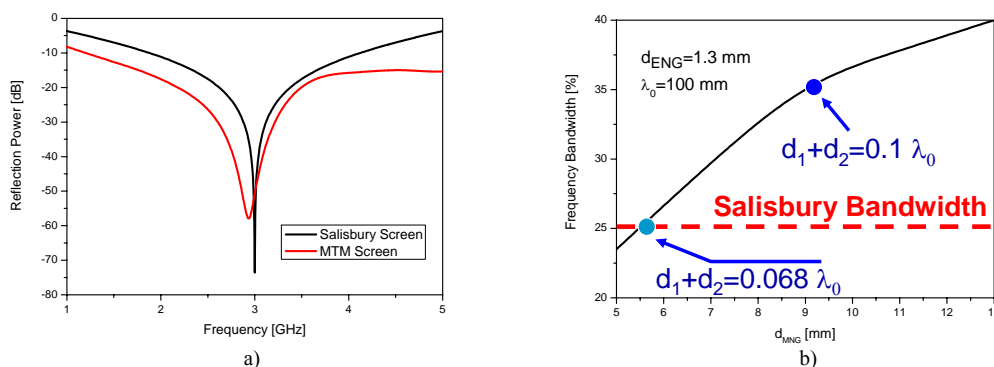


Figura 3 Confronto tra le caratteristiche di assorbimento a) e la larghezza di banda b) dell'assorbitore descritto nella didascalia di Figura 1 e uno schermo assorbente di tipo Salisbury (spessore pari a  $\lambda_0/4$ ).

## APPLICAZIONI E PROGETTO TRAMITE INCLUSIONI

Come detto in precedenza gli assorbitori vengono utilizzati in diversi ambiti. Per ragioni di spazio si presenta di seguito la sola applicazione relativa alla soppressione della radiazione posteriore di un'antenna in microstriscia. In Figura 4a si mostra lo schema geometrico di una semplice antenna in microstriscia di forma rettangolare alimentata tramite cavo coassiale e circondata dal materiale assorbente costituito da metamateriali. Lo compattezza del materiale assorbente e le buone prestazioni al variare dell'angolo di incidenza permettono di sopprimere efficientemente il contributo delle onde superficiali e ridurre la radiazione posteriore, come mostrato in Figura 4b.

Al fine di rendere il progetto degli assorbitori implementabile dal punto di vista pratico, sono state considerate diverse configurazioni dove i metamateriali ideali vengono sostituiti da opportune inclusioni [4]. Un esempio di tali configurazioni è riportato in Figura 5a e le relative prestazioni in Figura 5b. La realizzazione e la caratterizzazione sperimentale di questa e di altre configurazioni è tuttora in corso e si spera di poter avere disponibili i risultati delle misure per la conferenza.

## CONCLUSIONI

In questo contributo è stata presentata l'idea di un nuovo assorbitore compatto per applicazioni a microonde che fa uso di metamateriali. L'analisi teorica eseguita tramite un modello a linea di trasmissione equivalente è stata verificata attraverso le simulazioni full-wave effettuate tramite codici commerciali. I risultati ottenuti mostrano le ottime caratteristiche di compattezza del componente e le sue prestazioni in termini di larghezza di banda di frequenza e angolare. Anche i risultati numerici relativi al progetto del componente con le inclusioni utilizzate per descrivere i metamateriali si dimostrano incoraggianti. Si sta procedendo, infine, alla realizzazione e alla caratterizzazione sperimentale di prototipi, nella speranza di poter avere disponibili i risultati sperimentali per la conferenza.

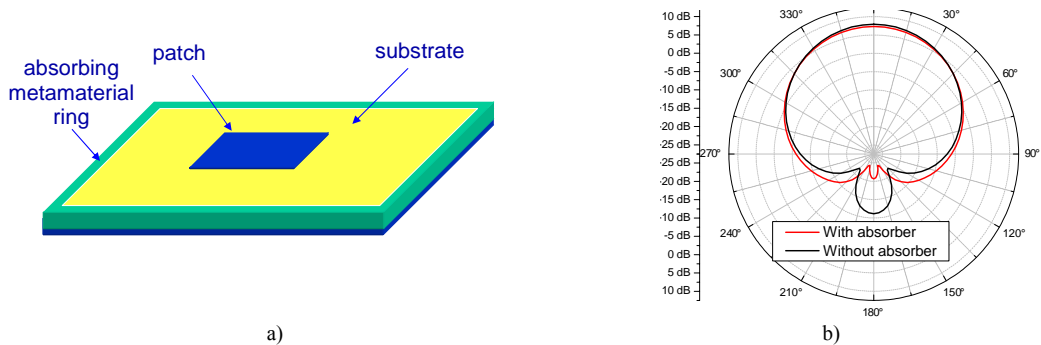


Figura 4 Schema geometrico e diagramma di radiazione di un'antenna a patch rettangolare caricata o meno con l'assorbitore descritto in Figura 1. L'antenna opera a 3 GHz ed è alimentata tramite probe.

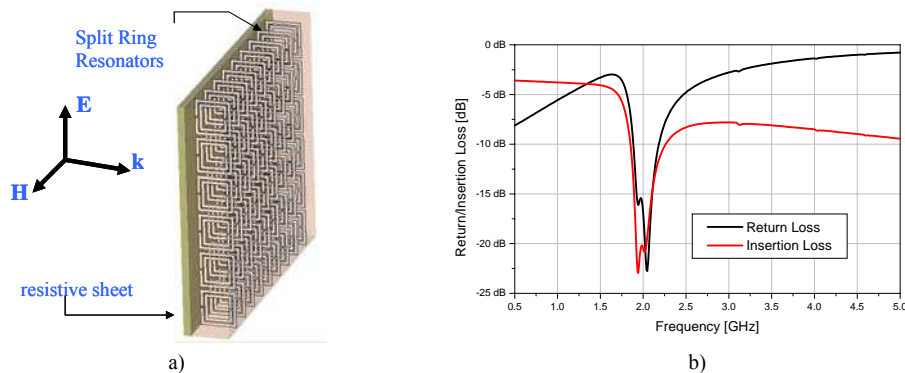


Figura 5 Schema geometrico a) e caratteristiche di trasmissione e riflessione b) di un assorbitore costituito da soli Split Ring Resonators [8].

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] A. Alù, F. Bilotti, N. Engheta, and L. Vegni, "A Thin Absorbing Screen Employing Metamaterial Complementary Pairs," Proc. of ICEAA 2005, pp. 75-78, Torino, Italy, Sept. 12-16, 2005
- [2] F. Bilotti, A. Alù, N. Engheta, L. Vegni, "Metamaterial sub-wavelength absorbers," Proceedings of the 2005 Nanoscience and Nanotechnology Symposium - NN2005, Frascati, Italia, 14-16 Nov. 2005
- [3] F. Bilotti, A. Alù, N. Engheta, and L. Vegni, "Features of a Metamaterial Based Microwave Absorber," Proceedings of the Third Workshop on Metamaterials and Special Materials for Electromagnetic Applications and TLC, Roma, Italia, 30-31 March 2006
- [4] F. Bilotti, L. Nucci, and L. Vegni, "An SRR based microwave absorber," submitted to MOTL
- [5] K.N. Rozanov, "Ultimate thickness to bandwidth ratio of radar absorbers," IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. AP-48, pp. 1230 – 1234, Aug. 2000
- [6] F. Bilotti, "Application of metamaterials for miniaturized components," Metamaterials for Industry, Short Course for Industries and SMEs, Jouy-en-Josas, France, 28-30 Nov. 2005
- [7] A. Alù, N. Engheta, "Pairing an epsilon-negative slab with a mu-negative slab: resonance, tunneling and transparency," IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. AP-51, pp. 2558 – 2571, Oct. 2003
- [8] W. W. Salisbury, "Absorber body for electromagnetic waves," U.S. Patent 2 599 944, June 10, 1952