

## **Superfici Selettive in Frequenza: analisi di un processo produttivo a basso costo e valutazione delle prestazioni del prodotto**

R. Stefanelli(1), M. Di Giovanni(2), D. Trincherò(1)

(1) iXem Labs - Politecnico di Torino - Dipartimento di Elettronica, Torino

(2) Filca S.p.a., Crescentino (VC)

E-mail : info@iXem.polito.it

### **Riassunto**

*L'articolo illustra una soluzione per il progetto e la caratterizzazione di filtri spaziali selettivi in frequenza per applicazioni wireless perfettamente trasparenti alla luce solare. Una soluzione a basso costo per la realizzazione di questi dispositivi viene presentata, insieme alla realizzazione di un banco prova sperimentale in grado di tenere in considerazione tutti gli effetti derivanti da installazioni reali. Per dimostrare la validità dell'applicazione, un prototipo è stato progettato, realizzato e testato. Il dispositivo è perfettamente trasparente alla luce visibile ed esibisce buone prestazioni come filtro elimina banda nell'intervallo delle microonde.*

### **INTRODUZIONE**

Per molti anni le tecniche di schermatura a radiofrequenza sono state applicate a problemi di Compatibilità Elettromagnetica, senza la necessità di discriminare la componente in frequenza del segnale interferente. Di solito questi metodi sono usati per proteggere un apparato dalla radiazione originata da altri dispositivi, o un singolo componente inserito in un sistema più complesso. Recentemente però, la grande diffusione di reti cellulari, ha generato la necessità di estendere le applicazioni alla protezione di grandi ambienti quali abitazioni ed uffici.

Infatti, l'esposizione ad alti valori di campo elettromagnetico ha interessato, per un lungo periodo, un numero limitato di persone che abitavano nei pressi delle installazioni trasmettenti radiofoniche e televisive. Negli ultimi quindici anni i servizi di telefonia mobile digitale hanno portato al progressivo avvicinamento dei siti trasmettenti alle abitazioni, aumentando il numero delle persone potenzialmente esposte. Spesso la presenza di queste installazioni nelle città, pur soddisfacendo le normative vigenti, possono generare un alto livello di preoccupazione negli abitanti. Una soluzione in grado di abbassare il livello di esposizione al campo elettromagnetico, anche di 5 – 10 dB, può migliorare sostanzialmente le condizioni di vita degli abitanti.

In queste situazioni è necessario un filtro selettivo in frequenza, soprattutto per evitare la cancellazione di ogni altro tipo di servizio di radiotelecomunicazione tra l'ambiente da proteggere e l'esterno. Da un punto di vista esclusivamente teorico, una buona soluzione è quella di isolare la struttura con un foglio completamente conduttivo ma la sua opacità alla luce lo rende inapplicabile in caso di superfici vetrate, o comunque adibite al passaggio della luce.

Una soluzione basata sull'uso di Superfici Selettive in Frequenza (FSS) rappresenta un esempio di implementazione di uno schermo selettivo in frequenza. Le FSS sono una disposizione bidimensionale periodica di elementi risonanti stampati su un piano infinito che offre un filtraggio sia passa banda che elimina banda [1].

Nell'articolo viene progettato e realizzato un tipo di schermo che utilizza delle FSS stampate su di un foglio trasparente. La realizzazione si basa su tecniche a basso costo per favorire lo sfruttamento della soluzione introdotta. Per verificare la corrispondenza tra il progetto e la realizzazione è stato allestito un set-up sperimentale ad-hoc in camera anecoica.

### **PROGETTO E MANIFATTURA DELLO SCHERMO**

Le FSS possono essere classificate in due principali categorie: induttive e capacitive, con differenti risposte in frequenza e strutture complementari. Le FSS induttive hanno un comportamento tipo passa-banda e sono realizzate mediante aperture in un foglio metallico. Al contrario, le FSS capacitive hanno un comportamento elimina banda e sono realizzate mediante stampa di elementi metallici su un foglio dielettrico.

Per l'applicazione specifica descritta nel precedente paragrafo, le FSS capacitive sono le più adatte, visto che possono essere realizzate con piste metalliche sottili stampate su fogli trasparenti. A questo scopo

abbiamo scelto il polipropilene: questo materiale offre ottima resistenza alla trazione, flessibilità e trasparenza. È inoltre usato in molti processi industriali, per costruire parti in plastica, risultando facilmente reperibile e di solito non costoso.

Tenendo in considerazione il possibile sfruttamento del dispositivo, abbiamo identificato un sistema di produzione industriale che minimizza i costi di realizzazione. Infatti in generale, la fabbricazione di prodotti innovativi richiede la costruzione di nuove macchine e l'introduzione di nuovi processi industriali che incrementano significativamente il costo del prodotto stesso. A questo scopo, abbiamo analizzato varie soluzioni manifatturiere e tra tutte abbiamo scelto un processo comunemente usato per decorare gli involucri di gelati preconfezionati e patatine.

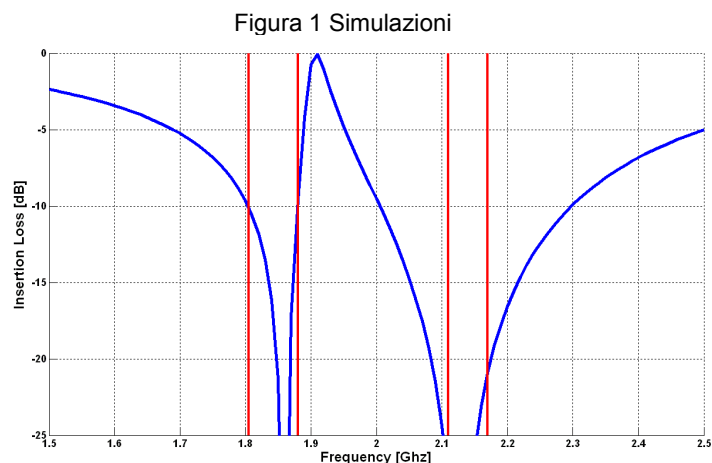
Il processo di produzione parte da un foglio di polipropilene, largo circa 1,2 metri e lungo fino a 3 km, che viene metallizzato su di un lato. L'operazione di metallizzazione è veloce e facile da implementare, oltre che di largo uso. Il foglio metallizzato passa quindi all'interno di una stampante che stampa le figure geometriche sulla parte metallizzata con uno speciale inchiostro protettivo. La stampante è dotata di un cilindro su cui è stato preventivamente impressa la struttura delle figure desiderate. Infine, il film viene inserito in una macchina de-metallizzatrice che asporta tutta la metallizzazione non coperta dall'inchiostro.

La nostra scelta fa uso della stessa soluzione industriale: anziché stampare le immagini di marketing, sono stampati gli elementi risonanti della forma desiderata. I costi di produzione derivano dalla somma di tutti i costi delle varie fasi. Il costo della materia prima è di circa 2,5 euro al kg, il costo dell'impiego della macchina da stampa, in grado di stampare fino a 200 metri al minuto, è pari a 450 € all'ora. La preparazione del cilindro ha un costo di 500 euro. Come si può notare il costo maggiore è la preparazione del cilindro, che però rappresenta un costo fisso che può essere ammortizzato per una produzione su larga scala.

## ESEMPIO DI PROGETTO

Per il progetto di superfici selettive in frequenza, esistono varie tecniche in letteratura [2]. In questo progetto è stata implementata una tecnica spettrale nota [3],[4]. Il progetto è stato realizzato per avere una risposta in frequenza di tipo elimina banda alle frequenze del GSM 1800 MHz e UMTS 2100 MHz [5]. Per l'applicazione specifica è stata selezionata la banda di downlink del sistema di comunicazione, quindi da 1805 a 1880 MHz e da 2115 a 2175 MHz.

Sono state analizzate varie figure geometriche, e la migliore è risultata essere quella basata su anelli risonanti. Questi infatti, grazie alla loro struttura geometrica simmetrica, offrono una risposta in frequenza quasi indipendente dall'angolo di incidenza del segnale da filtrare. Il layout finale è costituito da due anelli concentrici, uno con raggio pari a 24,00 mm, l'altro con raggio pari a 25,50 mm. La larghezza della pista metallica è di 0,5 mm. La figura 1 mostra i risultati della simulazione.

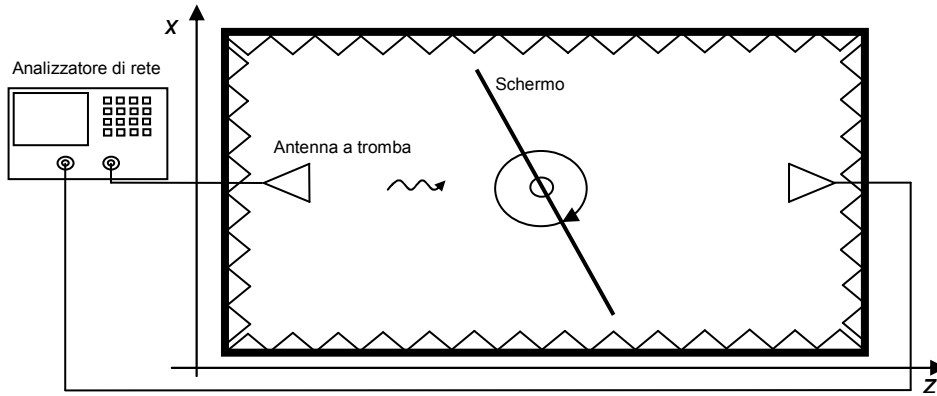


Risultato delle simulazioni per applicazioni alle applicazioni GMS

Il prototipo è stato quindi realizzato secondo il processo industriale sopra presentato e successivamente misurato in camera anecoica. Per caratterizzare sperimentalmente il dispositivo, è stato allestito un banco prova ad-hoc all'interno del Laboratorio di Antenne e Compatibilità Elettromagnetica del Politecnico di Torino (figura 2). L'esperimento è stato allestito in una camera anecoica di dimensioni 2 x 2 x 4 metri, in grado di lavorare ad una frequenza che va da 700 MHz fino a 40 GHz. Le misure sono state effettuate con un analizzatore di rete che lavora nella banda da 10 MHz a 67 GHz. Ai lati opposti della camera sono state montate due antenne a tromba a larga banda che lavorano da 1 GHz a 18 GHz con un guadagno di 18 dBi a

centro banda. Per simulare la presenza di una finestra è stato costruito un telaio di legno compensato rivestito di carta stagnola (figura 3). Al centro del telaio è stata praticata un'apertura quadrata di lato 1,5 metri su cui è stato montato il foglio schermante. Il telaio è stato quindi posizionato al centro della camera anecoica tra le due antenne (figura 4).

Figura 2 Schema banco di misura



Vista dall'alto del banco di misura in camera anecoica

Figura 3 Prototipo



Prototipo realizzato secondo il processo industriale descritto

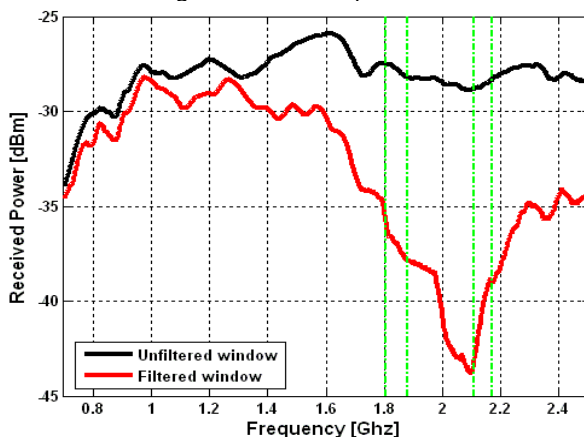
Figura 4 Banco di misura



Vista laterale del banco di misura

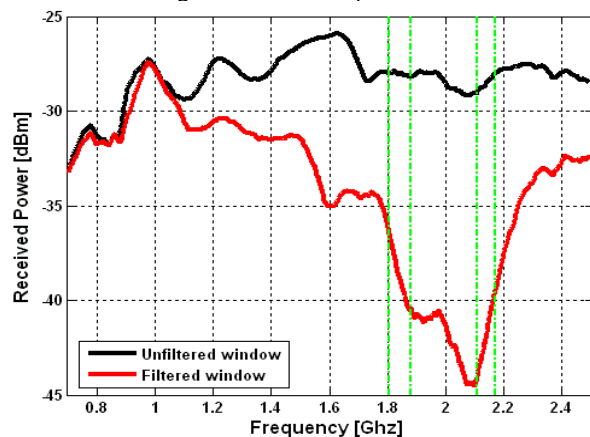
Per caratterizzare la risposta in frequenza a vari angoli d'incidenza del segnale il telaio è stato posizionato su un motore rotante che a passi di 15 gradi ruotava la struttura. Le figure 5 e 6 mostrano i risultati sperimentali ottenuti per un'incidenza del segnale rispettivamente di 0 e 60 gradi.

Figura 5 Risultati sperimentali



Potenza ricevuta: angolo di incidenza normale

Figura 6 Risultati sperimentali



Potenza ricevuta: angolo di incidenza 60 gradi

## Bibliografia

- [1] B. A. Munk, *Frequency Selective Surface: Theory and Design*, Wiley, New York, 2000
- [2] T. K. Wu, *Frequency Selective Surface and Grid Array*, Wiley, New York, 1995.
- [3] J. C. Vardaxoglou, *Frequency Selective Surfaces: Analysis and Design*, Wiley, New York, 1997.
- [4] R. Orta, R. Tascone, D. Trincherro, "A spectral approach for the modelling of planar periodic structures", in: *Recent Research Developments in Microwave Theory & Techniques*, Transworld Research Network (IND), pp. 133-157, 1999
- [5] D. Trincherro, R. Stefanelli. "Design and Characterization of Selective Shields for Wireless Applications". *2008 URSI General Assembly*, Chicago, Illinois, 2008, Chicago, 7-16 August 2008.