



*Università degli Studi di Salerno*

Dipartimento di Ingegneria Elettronica ed Ingegneria Informatica

Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione  
X Ciclo – Nuova Serie

**ABSTRACT (VERSIONE ITALIANA)**

Tesi di Dottorato

**Electromagnetic Characterization and Modeling  
of  
CNT-based Composites for Industrial Applications**

Candidato: **Giovanni SPINELLI**

Tutor: **Ing. Patrizia LAMBERTI**  
Co-Tutor: **Prof. Luigi EGIZIANO**  
Coordinatore: **Prof. Angelo MARCELLI**

Anno Accademico 2010 – 2011

In molte applicazioni per l'industria aeronautica, automobilistica ed elettronica, c'è una crescente richiesta di nanocompositi strutturali caratterizzati da interessanti proprietà termiche e meccaniche, e allo stesso tempo, con prestazioni elettromagnetiche (EM) predicibili e controllabili.

L'importanza tecnologica di tali sistemi risiede nel fatto che due, o più materiali differenti, vengono combinati insieme per formare un materiale che esibisca proprietà superiori, o in qualche modo rilevanti, rispetto alle proprietà tipiche dei singoli componenti. Pertanto l'individuazione e la preparazione di compositi avanzati nanostrutturati con caratteristiche migliori rispetto ai materiali tradizionali è oggi richiesta in diversi settori industriali.

Dal momento che i CNT adoperabili possono presentare forme, geometrie e funzionalità differenti, che si traducono in una diversa dispersione e adesione con la matrice polimerica, la gamma possibile di proprietà dei materiali compositi che ne derivano può essere molto ampia.

Per tali motivi l'attività sperimentale di caratterizzazione elettromagnetica e di modellistica numerica di tali compositi innovativi è di attuale interesse e di rilevante importanza scientifica.

L'attività di ricerca ha riguardato sia aspetti sperimentali che modellistici al fine di pervenire, mediante la correlazione delle caratteristiche elettromagnetiche con le proprietà morfologiche, all'ottimizzazione dei nanocompositi analizzati.

L'attività sperimentale è stata condotta su sistemi compositi di tipo bifase (resina epossidica/CNT) e multifase (resina epossidica/CNT/argilla). Infatti, si ipotizza che la presenza della fase non conduttiva di tipo lamellare (argilla) renda più difficoltosa la segregazione e l'aggrigliamento dei CNT. Sono stati quindi analizzati set di campioni di resina epossidica contenenti diverse concentrazioni di nanotubi di carbonio multi parete MWCNT e un ulteriore filler (argilla) non conduttivo (Hydrotalcite, HT).

A causa di queste possibili differenti concentrazioni di CNT e HT, i compositi possono esibire proprietà differenti in base a questi valori.

Pertanto, questa attività di ricerca, si pone come finalità un incremento delle proprietà dei compositi. In particolare, l'obiettivo è stato l'individuazione della giusta combinazione di questi fattori al fine di massimizzare la conducibilità elettrica di tali sistemi multifase.

Questo problema è classicamente affrontato mediante un approccio di tipo "trial and error" che, come noto, richiede la produzione di un grande quantitativo di materiale, aumentando di conseguenza sia i costi di produzione che il deployment time del composito stesso.

Invece, scopo di questo lavoro è proporre un approccio alternativo per risolvere questo problema, mediante un studio teorico capace di individuare i parametri maggiormente influenti le prestazioni dei compositi e la loro migliore combinazione per ottimizzare il parametro d'interesse quale, in questo caso, la conducibilità elettrica. La tecnica del Design of Experiments (DoE) è adottata al fine di raggiungere questo obiettivo.

L'adozione di questo approccio, nel campo sperimentale, è finalizzato al "design ad hoc" del materiale. Infatti, attualmente i compositi sono dapprima prodotti e successivamente caratterizzati per avere informazioni circa le loro prestazioni. Invece gli sforzi di questa ricerca sono orientati alla predizione delle prestazioni del composito mediante un accurato studio teorico. Solo successivamente si richiede la fornitura dei compositi con le specifiche individuate da questo studio da sottoporre a caratterizzazione elettromagnetica per avere una conferma sperimentale di quanto atteso.

I risultati sono molto interessanti perché è confermato sperimentalmente che vi è una concentrazione opportuna per la nano-argilla, come previsto, che deve essere utilizzata per la produzione di un composito in modo che possa presentare la più alta conducibilità.

Questo metodologia proposta può dare quindi la possibilità di avere un materiale personalizzato nonché creare sistemi con proprietà controllate e riproducibili.

Al fine di analizzare tali proprietà e le variabili di progetto relative a nanocompositi con proprietà migliorate, la caratterizzazione sperimentale elettromagnetica dei compositi deve essere integrata con opportuni modelli in grado di correlare le caratteristiche strutturali ed elettriche. In

effetti, una comprensione completa delle relazioni che legano le proprietà elettriche con le caratteristiche geometriche e fisiche del composito e le strutture topologiche formate è ancora da raggiungere. Pertanto, ulteriori sforzi volti a fornire maggiori informazioni sulle dipendenze tra le caratteristiche elettriche ed i parametri di cui sopra sono di notevole interesse.

Un possibile approccio per colmare questo gap è provare a correlare i risultati della caratterizzazione sperimentale con quelli predetti da un opportuno modello numerico.

Per questo motivo, in questa attività di ricerca, una struttura simulante un nanocomposito polimerico contenente nanotubi di carbonio come filler conduttivo è sviluppata considerando in uno spazio 3D una distribuzione casuale di cilindri conduttivi impenetrabili all'interno di una matrice cubica isolante.

La variazione della conducibilità elettrica del composito simulato, per differenti concentrazioni della fase conduttiva, è valutata mediante un opportuna rete di resistori 3D associata alla struttura ottenuta.

Nella valutazione della conducibilità si tiene conto ovviamente anche dell'effetto tunnel, che in tali materiali è ritenuto il principale responsabile del meccanismo della conduzione.

Usando un approccio di tipo Monte Carlo, la conducibilità elettrica e la soglia di percolazione delle strutture ottenute è valutata in funzione della variazione di alcuni parametri fisici e geometrici.

Diversamente dai modelli presenti in letteratura, il modello numerico proposto consente di effettuare anche studi in AC mediante un appropriata rete capacitiva 3D associabile alle strutture ottenute. Pertanto, usando il modello completo RC è possibile avere diverse informazioni circa il comportamento dei sistemi nel dominio della frequenza.

L'analisi numerica è stata condotta per studiare gli effetti dei parametri di lavorazione e delle proprietà dei materiali sul comportamento elettromagnetico dei compositi a base di nanotubi di carbonio, fornendo informazioni utili per l'ottimizzazione degli stessi.