



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BOLOGNA

Facoltà di Ingegneria

Dottorato di Ricerca in Ingegneria Elettrotecnica

XVI Ciclo

# **Progettazione ottimizzata di schermi elettromagnetici**

Dissertazione presentata per il conseguimento del titolo di Dottore di Ricerca  
in

Ingegneria Elettrotecnica  
da

Enrico Di Leo

Relatore:

Prof. Ivan Montanari

Coordinatore

Prof. Francesco Negrini

## **INTRODUZIONE**

Il problema della schermatura del campo elettromagnetico si incontra in numerosi settori tecnici allo scopo di mitigare il livello delle radiazioni emesse e/o di aumentare l'immunità ai disturbi di un dispositivo.

Un primo aspetto del problema in esame rientra nell'ambito della cosiddetta "compatibilità elettromagnetica" e si presenta quando si vuole evitare che le emissioni elettromagnetiche prodotte da una apparecchiatura elettrica disturbino il funzionamento di altre apparecchiature poste nelle vicinanze della prima. Un secondo aspetto si incontra quando si vuole ridurre l'esposizione di individui che debbano transitare o stazionare nei pressi di una sorgente di campo elettromagnetico.

La questione della schermatura si presenta in maniera diversa a seconda che l'emissione della sorgente sia intenzionale o accidentale.

Nel primo caso, che si manifesta in presenza di sorgenti concepite espressamente per irradiare campi elettromagnetici (come ad esempio gli impianti di tele-radiodiffusione), non è possibile schermare la sorgente, ovvero impedire che le sue emissioni si diffondano nell'ambiente circostante, poiché questo ne impedirebbe

il regolare funzionamento. Occorre allora schermare la regione di spazio all'interno della quale non si vuole che penetri il campo elettromagnetico.

Rientrano nel secondo caso, invece, tanto le sorgenti la cui emissione è del tutto "indesiderata" (per esempio: elettrodotti, elettrodomestici, computer), quanto gli apparati industriali il cui funzionamento richiede di solito la generazione di un intenso campo, ma solo in una regione limitata di spazio, dove si trova il "pezzo" in lavorazione (per esempio, la saldatura della plastica e la tempera dei metalli). In questi casi, è possibile pensare di schermare la sorgente stessa.

Le schermature si realizzano nella stragrande maggioranza dei casi con l'impiego di pannelli o di contenitori metallici o comunque di materiale che sia un buon conduttore elettrico.

La qualità di una schermatura si valuta attraverso l'efficacia di schermatura (**Shielding Effectiveness, SE**), data dal rapporto (espresso quasi sempre in dB) tra l'intensità del campo presente in un determinato punto prima e dopo la posa in opera dello schermo.

L'efficacia di schermatura di un materiale dipende dalle sue caratteristiche fisiche (e in particolare dalla sua conducibilità elettrica e dalla sua permeabilità magnetica), dalla frequenza e dallo spessore utilizzato.

Per ragioni economiche e tecniche è importante minimizzare dimensioni e ingombri degli schermi, adottando, ove possibile, schermi parziali e ammettendo, quando necessario per ventilazione e/o accessibilità ottica, la presenza di aperture. In tale contesto è certamente utile poter disporre di uno strumento di calcolo

affidabile, capace di analizzare uno schermo reale, per forma e materiale, con tempi di calcolo contenuti e precisione adeguata. L'associazione di un tale codice con un algoritmo di ottimizzazione non lineare vincolato consente poi di ottenere uno schermo ottimizzato rispetto ad un insieme di vincoli definiti per il problema in esame, quali ad esempio spessore e/o forma dello schermo, dimensioni delle aperture, tipo di materiale adoperato, frequenza della radiazione. Inoltre quando possibile è utile disporre delle soluzioni analitiche relative ad alcune configurazioni di schermatura relativamente semplici.

La metodologia proposta nel seguente lavoro si basa sulla considerazione che un qualsiasi sistema elettromagnetico può essere reso formalmente omogeneo tramite l'introduzione di correnti volumetriche omogeneizzanti sostenute dalla polarizzazione elettrica e magnetica, relative alla regione di spazio contenete la disomogeneità (che nel caso in esame è costituita dallo schermo).

Nel caso di materiali lineari, omogenei, isotropi, tempo invarianti in regime sinusoidale con frequenza qualsiasi purché non nulla, è possibile definire il problema separatamente nella regione di spazio occupata dall'aria ed in quella occupata dallo schermo sostituendo alle correnti volumetriche omogeneizzanti le correnti superficiali assorbenti situate sulla superficie di interfaccia fra lo schermo e l'aria ed applicando in modo opportuno il principio di sovrapposizione degli effetti.

Tale procedimento conduce a due distinte situazioni di spazio tutto omogeneo (con le proprietà rispettivamente dell'aria e dello schermo), e quindi consente di ottenere in ciascuna delle regioni un'espressione analitica in forma integro differenziale del campo elettromagnetico in funzione delle correnti superficiali assorbenti e delle sorgenti impresse.

Imponendo la continuità della componente tangente dei campi elettrico e magnetico attraverso la superficie di interfaccia fra le due regioni si ottengono due equazioni vettoriali integro differenziali nelle incognite del problema costituite dalle correnti superficiali assorbenti.

Il vantaggio della metodologia utilizzata consiste nella possibilità di affrontare il problema in esame tramite incognite definite sulla sola superficie di interfaccia fra l'aria ed il materiale schermante. Quindi a differenza di altri metodi, come ad esempio quello degli elementi finiti, che necessitano dello studio di tutto il volume in cui è definito il campo, tale metodo consente in teoria di risolvere il problema della determinazione dell'efficacia di schermatura con un minor numero di incognite.