CONDIZIONI DI PORTA PER PROBLEMI ELETTROMAGNETICI NEL DOMINIO DELLA FREQUENZA

Silvano Chialina¹, Matteo Cicuttin², Lorenzo Codecasa³, Ruben Specogna², Francesco Trevisan²

¹Emilab s.r.l., Via F.lli Solari 5/A, Amaro (UD)

²Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Gestionale e Meccanica, Università di Udine, Via delle Scienze 206, Udine ³Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria, Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci 32, Milano, e-mail matteo.cicuttin@uniud.it

Parole chiave: Metodo delle Celle, Condizioni di porta, Camera anecoica

In collaborazione con il laboratorio di compatibilità elettromagnetica Emilab, nel contesto dello studio della modellazione numerica di una camera anecoica, è stata sviluppata una condizione di porta per l'approccio geometrico discreto (DGA). Tale condizione permette di applicare un'onda piana ad un bordo del dominio di simulazione e rappresenta un contributo innovativo nel campo della DGA. Lo studio della condizione di porta è stato necessario per poter successivamente sviluppare un modello equivalente di una parete anecoica, modello che è stato ottenuto tramite diversi passi, di seguito descritti. La simulazione di camere anecoiche è attualmente argomento di vivo interesse [1] e un modello equivalente come quello presentato ha diversi vantaggi. Dal punto di vista computazionale le risorse di calcolo sono ridotte in quanto non serve modellare tutti i dettagli geometrici della parete. Inoltre si ha a che fare con superfici bidimensionali, il che semplifica di molto la costruzione del modello dell'intera parete.

La formulazione della condizione di porta deriva da due osservazioni. Data una porzione Σ del bordo del dominio di calcolo, porzione rappresentante la porta, essa sarà caratterizzata da una data ammettenza d'onda Y e attraversata dai campi e, h. Tali campi possono essere scomposti nelle loro componenti entranti (e^- , h^-) e costituenti la forzante e nelle componenti uscenti (e^+ , h^+), dovute a fenomeni di riflessione. Su tali campi la porta impone le condizioni $n \times h^+ = Y(n \times e^+ \times n)$ e $n \times h^- = -Y(n \times e^- \times n)$, ove con n è indicata la normale uscente. Nel formalismo della DGA tali condizioni sono scritte come $F^b = M_Y U^+ + F^{b^-}$ in cui F^b sono le forze magnetomotrici sui lati duali di Σ , U le tensioni sui lati primali e M_Y la matrice che le lega e con valori non nulli solo in corrispondenza dei lati di bordo. La forzante è espressa dal termine F^{b^-} . L'equazione del problema propagativo formulata nella DGA e completa delle condizioni di porta diventa

$$(\boldsymbol{C}^{T}\boldsymbol{M}_{v}\boldsymbol{C}-\boldsymbol{\omega}^{2}\boldsymbol{M}_{\varepsilon}+i\boldsymbol{\omega}\boldsymbol{M}_{Y})\boldsymbol{U}=-2i\boldsymbol{\omega}\boldsymbol{F}^{b}$$

nella quale la matrice C codifica l'incidenza facce-lati nel complesso primale, mentre la sua trasposta codifica la stessa informazione nel complesso duale. Infine, le matrici $M_{\varepsilon} \in M_{v}$ sono ottenute dalle proprietà dei materiali e costruite secondo [3].

Per simulare un'intera parete si è partiti dallo studio della sua unità base, di seguito chiamata *cella unitaria* (Figura 1). La cella unitaria è un complesso di 2x2 coni assorbenti e 3x3 piastrelle in ferrite. Di tale assemblato si è costruita un'opportuna mesh, nella quale sono stati individuati i seguenti elementi :

- La porzione di bordo rappresentante la porta Σ ,
- Un piano Π e un piano Π' paralleli a Σ e alla base dei coni.

Lo studio ha coinvolto due simulazioni. La prima è stata eseguita assegnando ad ogni sottodominio della mesh (coni, ferriti) le opportune proprietà materiali ottenute dai datasheet dei costruttori e, applicando un'onda piana alla porta Σ , è stata calcolata l'impedenza d'onda sul piano Π (Figura 1).

La seconda simulazione è stata eseguita invece su un dominio fatto di sola aria ma terminato con un'impedenza calcolata riportando su Π' quella precedentemente misurata in Π (Figura 2).



Figura 1: Modello completo della cella unitaria





La zona in cui interessa che i campi vengano approssimati accuratamente è quella lontana dai coni e, dagli esperimenti numerici effettuati, si può vedere come il modello proposto dia buoni risultati (Figura 3). Il modello originale è costituito da circa 446000 tetraedri, mentre il modello equivalente da circa 22000: nonostante una riduzione di 20 volte, l'errore relativo tra il campo del modello completo e di quello equivalente è inferiore al 5% nell'intera zona d'interesse (Figura 4).



Anche dal punto di vista computazionale i risultati sono incoraggianti: il modello completo richiede tempi di calcolo nell'ordine del minuto, mentre il modello equivalente richiede tempi nell'ordine del secondo. Gli esperimenti numerici sono stati condotti con l'ausilio di un nuovo codice generalpurpose per la DGA, scritto in C++11 e pensato in modo modulare ed espandibile.

[1] I. Munteanu, R. Kakerow, *Simulation Methodology for the Asessment of Field Uniformity in a Large Anechoic Chamber* IEEE Transactions on Magnetics, Vol 50, No. 2, February 2014.

[2] L. Codecasa, R. Specogna, F. Trevisan, *Discrete geometric formulation of admittance boundary conditions for frequency domain problems over tetrahedral dual grids*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 60, No. 8, August 2012.

[3] L. Codecasa, R. Specogna, F. Trevisan, *Symmetric Positive-Definite Con-stitutive Matrices for Discrete Eddy-Current Problems*, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 43, No. 2, February 2007.