FINITE INTEGRATION TECHNIQUE NEL DOMINIO DEL TEMPO PER LA MODELLIZZAZIONE DI UN AUTOVEICOLO IN CAMERA ANECOICA

G.Agostinelli

Dipartimento di Elettronica & Automatica, Università di Ancona
via Brecce Bianche
60121, Ancona
gianni.ago@libero.it

M. De Riso

ELASIS S.C.p.A.
Componenti e Sistemi elettrici ed elettronici
Via Ex Aeroporto sn
80038 Pomigliano d'Arco
massimiliano.deriso@elasis.fiat.it

E. Leroux, L. Sassi

Computer Simulation Technology
Bad Nauheimer Strasse 19
64289 Darmstadt
Germania
leroux@cst.de,
sassi@cst.de

Abstract

It is important to predict the behavior of products towards Electromagnetic Compatibility (EMC) norms early in the design stage. In particular the simulation of Radiated immunity of big structures like cars is not an easy task. In this paper both the EM field in a simplified car model and the induced signals on cables in anechoic chamber have been evaluated. Simulations have been carried out by the means of the Finite Integration Technique in Time Domain method associated to the Perfect Boundary Approximation™ of a commercial software. Measurements have been done in the labs of Centro Ricerche Auto ELASIS of Pomigliano d'Arco (Naples, Italy). A good agreement has been found between measurements and simulations.

I INTRODUZIONE

Allo stato dell'arte le misure di compatibilità elettromagnetica (e.m.) sono realizzate in camera anecoica o riverberante, in una fase in cui il progetto è consolidato rendendo costosa una sua modifica. L'attività di ricerca industriale è rivolta sia all'individuazione di nuove tecniche di verifica di conformità alle normative sia allo sviluppo di nuovi algoritmi per la simulazione della distribuzione di campo e.m. e degli effetti di interferenza in apparati elettrici ed elettronici. Le attuali ricerche vanno, allora, nella direzione di ridurre i tempi ed i costi di un progetto mediante nuovi i algoritmi di simulazione. A tal fine la tecnica di integrazione finita nel dominio del tempo (Finite Integration Technique in Time Domain, FIT-TD) insieme all'approssimazione perfetta del contorno (Perfect Boundary Approximation, PBA™) sembra soddisfare tali esigenze [1], soprattutto rispetto ai classici metodi agli elementi finiti nel dominio della frequenza. Questi ultimi pur essendo interessanti dal punto di vista della ricerca non sono praticabili in ambito industriale automobilistico per simulazioni EMC, poiché hanno grande difficoltà a simulare strutture di grosse dimensioni, 40-50λ, con un'unica simulazione [2] in larga banda. In questo lavoro viene presentato un algoritmo FIT-TD associato alle PBA™ per il progetto dell'impianto elettrico di un autoveicolo in camera anecoica irradiata da un'antenna a tromba. I risultati delle simulazioni sono stati confrontati con le misure realizzate al Centro Ricerche Auto ELASIS di Pomigliano d'Arco (Napoli).

II LA TECNICA DI INTEGRAZIONE FINITA NEL DOMINIO DEL TEMPO (FIT-TD)

Per questa analisi è stato utilizzato il software CST-MicroWaveStudio™ basato sulla FIT-TD e PBA™. La FIT-TD [3] trasforma le equazioni di Maxwell e le relazioni costitutive in un dominio discreto posizionando le componenti di tensione $\hat{\mathbf{e}}$ e flusso $\hat{\mathbf{d}}$ elettrico agli estremi di una griglia G e le componenti di tensione $\hat{\mathbf{h}}$ e flusso $\hat{\mathbf{b}}$ magnetico agli estremi di una griglia duale $\tilde{G}$, come mostrato in Fig. 1

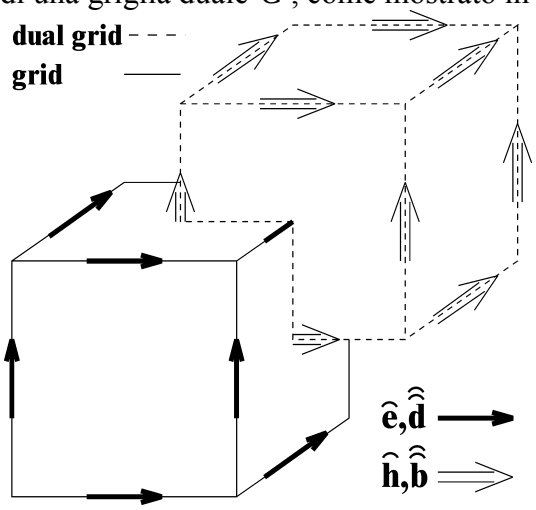

Figura 1: Posizione delle componenti di tensione $\hat{\mathbf{e}}$ e flusso $\hat{\mathbf{d}}$ elettrico agli estremi della una griglia G e delle componenti di tensione $\hat{\mathbf{h}}$ e flusso $\hat{\mathbf{b}}$ magnetico agli estremi della griglia duale $\tilde{G}$.

Le equazioni di Maxwell discretizzate, chiamate anche equazioni di Maxwell di griglia sono così:

$$\mathbf{C}\hat{\mathbf{e}} = -\frac{d\hat{\tilde{\mathbf{b}}}}{dt} \qquad \tilde{\mathbf{C}}\hat{\mathbf{h}} = \frac{d\hat{\tilde{\mathbf{d}}}}{dt} + \hat{\tilde{\mathbf{j}}} \qquad \mathbf{S}\hat{\tilde{\mathbf{b}}} = \mathbf{0} \qquad \tilde{\mathbf{S}}\hat{\tilde{\mathbf{d}}} = \mathbf{q}$$

dove $\hat{\tilde{\mathbf{j}}}$ indica ancora il flusso sulla griglia, mentre le matrici $\mathbf{C}$ ed $\mathbf{S}$ corrispondono, rispettivamente, agli operatori rotazionale e divergenza, applicati alla griglia duale $\tilde{G}$ se contrassegnati dalla tilde. Le relazioni costitutive della materia che accoppiano le componenti di tensione $\hat{\mathbf{e}}$ e flusso $\hat{\mathbf{d}}$ elettrico della griglia G e le componenti di tensione $\hat{\mathbf{h}}$ e flusso $\hat{\mathbf{b}}$ magnetico della griglia duale $\tilde{G}$ sono trasformate nelle seguenti:

$$\hat{\tilde{\mathbf{d}}} = \mathbf{M}_{\varepsilon}\hat{\mathbf{e}} \qquad \hat{\mathbf{h}} = \mathbf{M}_{\mu^{-1}}\hat{\tilde{\mathbf{b}}} \qquad \hat{\tilde{\mathbf{j}}} = \mathbf{M}_{\kappa}\hat{\mathbf{e}} + \hat{\tilde{\mathbf{j}}}_{\mathbf{A}}$$

Le condizioni al contorno del dominio di calcolo utilizzate sono una serie di strati perfettamente adattati (Perfect Matched Layer, PML) [4] posizionati attorno alla struttura per assorbire le onde incidenti al contorno. I metodi alle differenze finite, in generale, presentano problemi di approssimazione dovuti alla discretizzazione della struttura; con l'introduzione delle PBA™[5], CST-MicroWaveStudio™ supera questi limiti. Le PBA considerano gli spessori di uno strato di metallo in una cella della griglia di calcolo, senza avere bisogno di ulteriori punti di discretizzazione. In questo modo le singolarità del campo e.m. vengono considerate sulle estremità della cella stessa e consentono di ridurre il numero di punti necessari ad ottenere con buona precisione il campo e.m. La FIT nel dominio del tempo è efficiente per l'analisi di strutture alle

microonde. La discretizzazione delle derivate temporali viene formulata con un metodo esplicito chiamato algoritmo leap-frog, che consente il calcolo di ciascun passo temporale con una semplice moltiplicazione di un vettore per una matrice, consentendo un uso efficiente della memoria.

III. MODELLO DELL'AUTOVEICOLO IN CAMERA ANECOICA

La camera anecoica simulata ha le seguente dimensioni 160x160x700 cm, mentre la sagoma dell'autoveicolo è 120x120x306 cm e dista 300 cm dall'antenna a tromba, secondo lo schema di Fig. 2. Per stabilire le proprietà di immunità irradiata dell'autovettura è stata dapprima effettuata una simulazione dell'antenna a tromba ottenendo i seguenti valori di direttività: 13.14dB a 1GHz e 16.74 dB a 2GHz in accordo con le specifiche dell'antenna, rispettivamente di 13.19 dB e 16.95 dB.

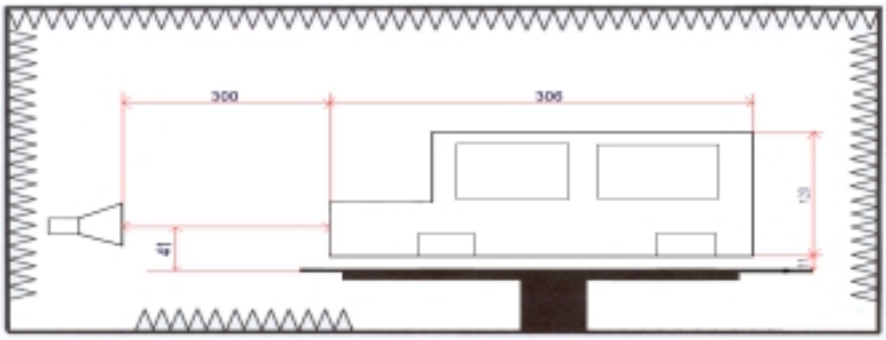

Figura 2 Vista laterale del modello simulato con CST-MicroWaveStudio™, le quote sono espresse in cm.

Anche il campo elettrico sull'asse dell'antenna a tromba polarizzata verticalmente è stato valutato e confrontato con quello misurato, come riportato in Fig. 3 alla frequenza di 1GHz. L'andamento mostra solo uno scostamento di pochi dB dovuto ai cavi di collegamento, non simulati, che presentano un'incertezza massima di ± 2.5 dB.

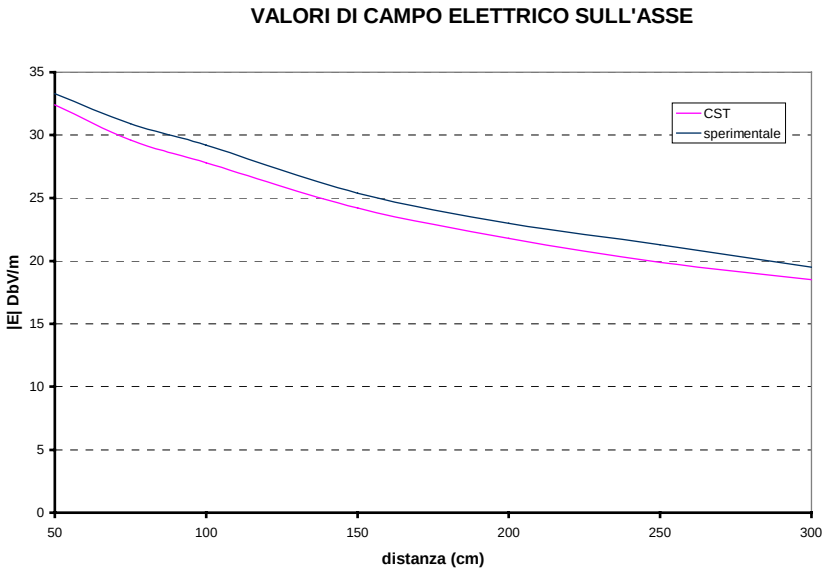

Figura 3: campo elettrico calcolato con CST-MicroWaveStudio™ e misurato sull'asse dell'antenna a tromba polarizzata verticalmente.su un piano a 67cm dal fondo dell'autoveicolo a 1GHz.

Per la valutazione di immunità radiata si è valutato il valore di campo elettrico in diversi punti all'interno dell'abitacolo distribuiti su tre piani rispettivamente a 35, 67 e 100 cm dal fondo dell'autoveicolo alla frequenza di 1GHz. In Tab. I sono riportati i valori di campo elettrico valutati sul piano a 67 cm e confrontati con le misure. La differenza media fra i valori simulati e sperimentali è pari a 2.5 dB: i risultati possono ritenersi buoni se si tiene conto dell'incertezza con cui sono state effettuate le misure.

CST ($dB_{V/m}$)	12.9	15.3	15.8	16.2	20.8	18.0	12.9	15.3	15.8
Misura ($dB_{V/m}$)	16.9	13.6	14.1	19.7	19.5	16.8	16.4	18.2	13.5

Tabella I: campo elettrico calcolato con CST-MicroWaveStudio™ e misurato su un piano a 67cm dal fondo dell'autoveicolo a 1GHz.

Infine, é stato studiato il disturbo indotto in un cavo di rame di 1.8 mm di diametro disposto nell'abitacolo ad un'altezza di 37 cm, intorno alle pareti a 5 cm di distanza. Il cavo è connesso ad un'estremità ad un VNA ed in circuito aperto all'altra estremità. I valori del coefficiente di trasmissione S_{21} sono riportati in Fig. 4, in accordo con i risultati sperimentali (S_{21} medio: –51.5 dB sperimentale e –54.4 dB simulato).

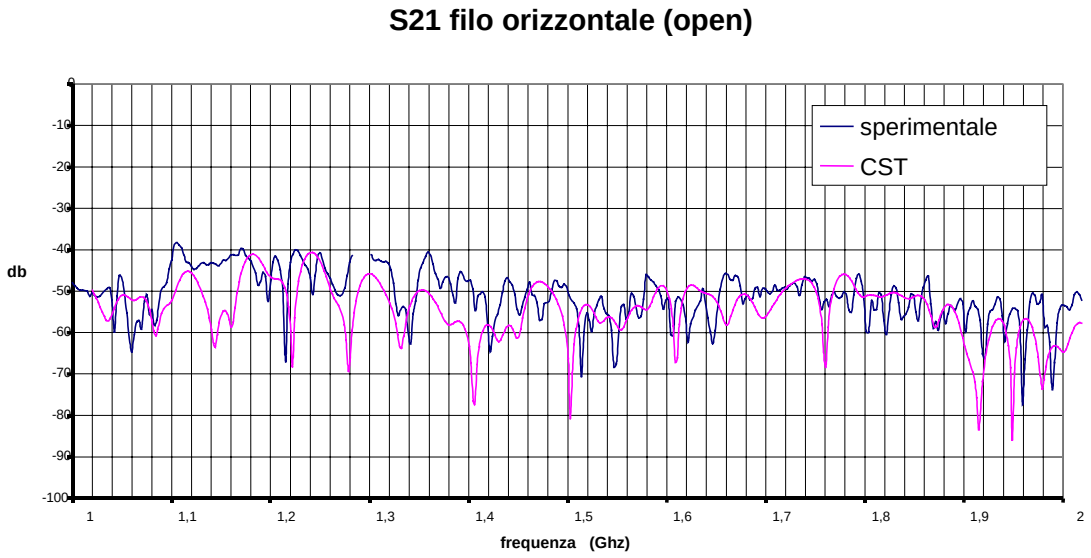

Figura 4: Risultati della simulazione e misura per il coefficiente di trasmissione S_{21} nel range di frequenze 1GHz – 2GHZ.

Lo scostamento dei risultati delle simulazioni dalle misure è dovuto principalmente ai seguenti fattori: per il posizionamento dei sensori di misura sono stati introdotti nell'autoveicolo diversi supporti che non sono stati simulati e c´erano delle difficoltà pratiche nel piazzare i sensori nella posizione desiderata; il sensore di misura non è puntiforme, ma ha dimensioni di 2 cm di diametro e 5 cm di altezza; i cavi di collegamento dei sensori al VNA non stati simulati; la sagoma reale del veicolo non era perfetta così come l'abbiamo disegnata (le lamiere sono deformate e quindi può spiegare perché la posizione dei minimi e massimi sembra spostata nella Fig. 4); nelle simulazioni non sono state introdotte le perdite nei conduttori per effetto pelle.

Per ottenere sia i valori di campo elettrico alle probe definite alla frequenza di 1 GHz che per avere i parametri scattering da 1 a 2 GHz il tempo impiegato è di circa 10 ore con le risorse hardware: PENTIUM II - 450 MHz con 512 MB di RAM. Per questo calcolo dove le PML devono essere posizionate ad almeno $\lambda/4$ dall'oggetto (che alla frequenza di 2 GHz è pari a 3,75 cm), viene un volume di calcolo prossimo a 17,5 m^3. Tramite delle opzioni in CST-MicroWaveStudio™ che permettono di gestire in modo efficace una mesh non equidistante che può essere infittita dove serve il volume di mesh è circa di 4,8 milioni di celle.

IV. CONCLUSIONI

La FIT-TD con le PBA™ su cui si basa il software CST-MicroWaveStudio™ si presta bene alla simulazione EMC di modelli di grandi dimensioni, 40-50λ, su una banda larga di frequenze. I risultati delle simulazioni sono in buon accordo con le misure, sia in termini di immunità radiata sia di disturbo indotto nel cavo. La non perfetta corrispondenza fra i valori puntuali di campo elettrico simulati e misurati è imputabile all'incertezza con cui cono state effettuate le misurazioni e alla geometria non perfetta del veicolo. La stessa osservazione vale per i segnali rilevati sui cablaggi. Inoltre si potrebbe tentare di introdurre le perdite nei conduttori nella simulazione per tenere conto dell´ effetto pelle. I tempi di calcolo sono molto accettabili visto la risorsa HW usata. Con la versione di calcolo parallelo di CST-MicroWaveStudio™ è possibile ridurre questo tempo di calcolo drasticamente su un pentium IV bi-processore per arrivare a qualche ore di simulazione. E quindi i tempi di calcolo e le risorse hardware necessarie alla simulazione consentono al software un largo impiego in campo industriale. Il prossimo passo è quello di importare un modello completo di un'autovettura di produzione direttamente dal CAD meccanico attraverso una nuova interfaccia STEP disponibile sulla nuova release CST-MicroWaveStudio™ 4.

V. RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano i Prof. R. De Leo, V. Mariani Primiani per il loro prezioso aiuto.

VI. BIBLIOGRAFIA

[1] E. Leroux, S. Caniggia, A. Orlandi, L. Sassi, "Finite Integration Technique Numerical Modelling for EMC and Signal Integrity problems." Accepted paper at ISIE´2002: IEEE International Symposium on Industrial Electronics, L´Aquila, Italy, 8-11 June 2002.

[2] R. De Leo, G. Cerri, L. Claretti, V. Mariani Primiani, F. Moglie, M.Moscariello, M. de Riso, "Cars: Modelling the Electromagnetic Field for Radiated Immunità Tests" , Compliance Engineering, March/April 2001, pp. 36-45.

[3] T. Weiland: A Discretization Method for the Solution of Maxwell's Equations for Six-Component Fields. Electronics and Communication, (AEÜ), Vol. 31 (1977), p. 116.

[4] J.P. Berenger, "A Perfectly Matched Layer for the Absorption of Electromagnetic Waves", Journal of Computational Physics, Vol. 114, 1994, pp. 185-200.

[5] B.Krietenstein, R.Schuhmann, P.Thoma, T.Weiland: "The Perfect Boundary Approximation Technique facing the big challenge of High Precision Field Computation"Proc. of the XIX International Linear Accelerator Conference (LINAC 98), Chicago, USA, 1998, pp. 860-862