UN LABORATORIO VIRTUALE PER LA GUIDA AGLI ESPERIMENTI BIOLOGICI CONTROLLATI[1]

R. Pinto, L. Ardoino, G.A. Lovisolo
Sezione di Tossicologia e Scienze Biomediche,
ENEA, Roma, lovisolo@casaccia.enea.it

G. Marrocco, A. Fonte, F. Bardati
DISP, Università di Tor Vergata – Roma
marrocco@disp.uniroma2.it

Abstract

A virtual bioelectromagnetic laboratory has been designed for computations of composite electromagnetic scenarios including biological structures and electromagnetic devices, which will assist the biologist to setup an exposure experiment. The virtual laboratory includes a Finite-Difference Time-Domain solver equipped with a database of biological targets and electromagnetic probes and applicators. A graphic post processor allows the user to compute relevant dosimetric functions.

INTRODUZIONE

Lo studio degli effetti biologici derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici richiede contributi multidisciplinari necessari alla messa a punto e al controllo delle condizioni di esposizione prescelte, alla scelta degli "end point" biologici, all'esecuzione dei test biologici e all'interpretazione dei risultati [1], [2]. La necessità di disporre di simulatori elettromagnetici specifici, in grado di aiutare le scelte della sperimentazione, è particolarmente sentita dai biologi che ne traggono beneficio nel predisporre gli apparati e le condizioni di esposizione dei campioni. In questo contesto è stato progettato e parzialmente realizzato un laboratorio virtuale bioelettromagnetico in grado di risolvere il problema della determinazione del campo elettromagnetico in assegnati sistemi espositivi e strutture biologiche. Caratteristiche principali del laboratorio virtuale sono l'adattabilità alle esigenze sperimentali e la specializzazione d'uso che ne consentono l'impiego a personale non esperto, dopo la calibrazione iniziale con i dispositivi e i sistemi di generazione del campo elettromagnetico impiegati.

DESCRIZIONE DEL SIMULATORE

Il laboratorio virtuale utilizza come solutore elettromagnetico il tool B.E.S.T. [3] che implementa il ben noto metodo delle differenze finite nel dominio del tempo (FDTD), ampiamente usato nella modellistica elettromagnetica delle applicazioni industriali e biomediche [4]. Permette di modellare strutture disomogenee *in vivo* e *in vitro* su di un reticolo di calcolo cartesiano ortogonale strutturato con passo fisso o variabile. Il solutore è di uso generale ed è applicabile a domini di calcolo chiusi o aperti, tramite impiego di opportune condizioni al contorno (MUR o PML), permettendo quindi di modellare sistemi espositivi, in regime impulsivo o in onda continua, in cui il target è posto in guida d'onda, in cavità o in spazio libero.

Il simulatore dispone di un archivio di sorgenti di campo elettromagnetico (onda piana, dipolo elettrico, antenne stampate, cella TEM, guida d'onda cortocircuitata, Wire Patch Cell, antenne a loop, ecc.) e di un archivio di bersagli biologici (ratto, topo, piastre di Petri, fiasche e pozzetti di varie dimensioni, modelli di testa umana e altre regioni del corpo). E' inoltre

[1] Questo lavoro è stato parzialmente finanziato dal MIUR nell'ambito del progetto "Salvaguardia dell'uomo e dell'ambiente dalle emissioni elettromagnetiche" dell'AdP MIUR/CNR-ENEA.

possibile accedere al database, con le caratteristiche dielettriche di circa cinquanta tessuti biologici, che implementa il modello di dispersione Cole-Cole [5], [6]. I vari modelli possono essere combinati per costruire sistemi più complessi. E' inoltre possibile importare mappe biologiche e geometriche generate esternamente al simulatore.

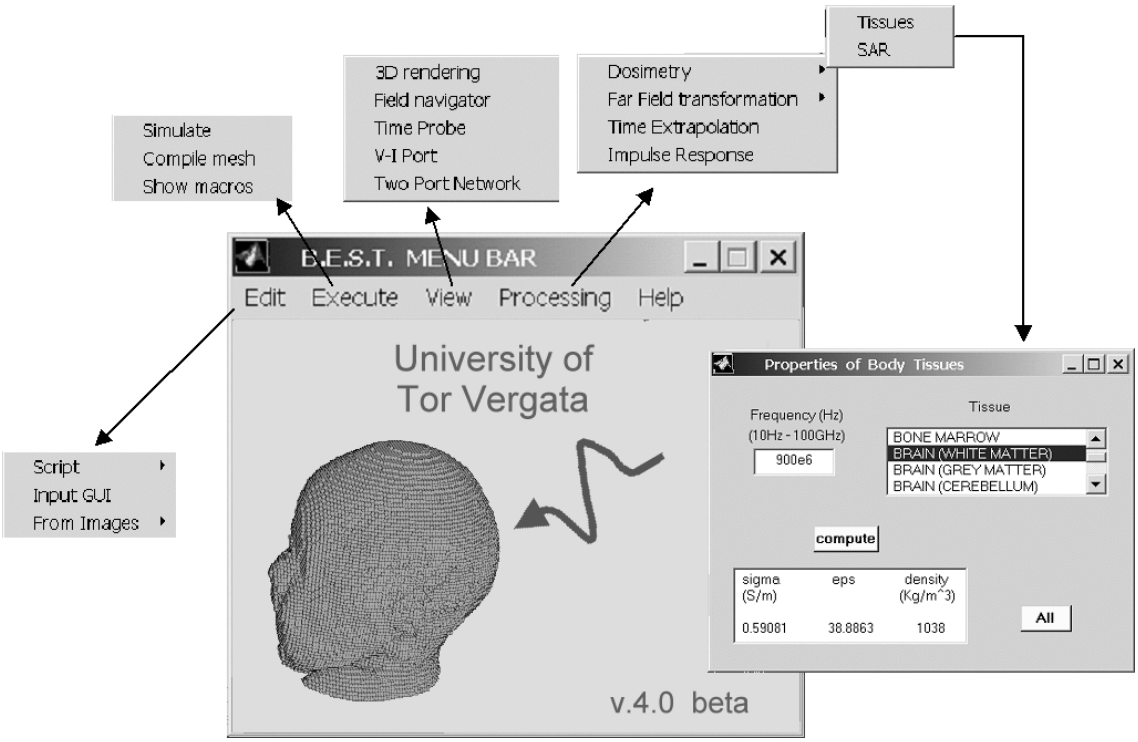

Fig.1: vista d'insieme della Menu Bar dalla quale è possibile accedere a tutte le funzionalità del simulatore

Il simulatore calcola gli andamenti di campo elettrico e magnetico nel dominio del tempo e nel domino della frequenza nei punti del reticolo di calcolo. Tramite post-processing è possibile accedere in maniera automatica e guidata a numerosi parametri di comune impiego dosimetrico [7] relativi alla modalità di esposizione. Fra questi: la distribuzione puntuale dello Specific Absorption Rate (SAR); l'efficienza del sistema espositivo; il SAR massimo, minimo, medio e la deviazione standard; l'istogramma dose-percentuale del bersaglio (dal quale dedurre la percentuale del volume esposta ad un certo valore di SAR); la curva volume-dose; la curva statistica del SAR.

Il solutore, sviluppato in linguaggio C, è al momento accessibile tramite un'interfaccia grafica in ambiente Matlab (Fig.1) che guida l'utente nelle varie fasi della descrizione della scena da simulare e nell'elaborazione dei dati dosimetrici.

ESEMPIO

Nelle attività sperimentali è frequente l'utilizzo di ratti per studiare gli effetti delle esposizioni del cervello prodotte dai terminali wireless (cellulari *800÷900MHz* o PCS *1.8÷2GHz*): in particolare, nell'ambito di progetti europei del V Programma Quadro in corso, vengono studiati gli effetti sul comportamento. Il ratto viene di solito immobilizzato all'interno di un contenitore cilindrico di materiale acrilico, per garantire la ripetibilità dell'esposizione, e

una corretta valutazione della dose ed esposto al campo em. prodotto da un'antenna a loop; tale antenna viene posta sopra il cranio del ratto all'altezza del cervello [8]. Il modello del ratto Sprague Dawley da 370g è stato costruito in maniera semiautomatica, con funzionalità interne al simulatore, a partire da immagini sagittali ottenute con la risonanza magnetica (www.brooks.af.mil). Le immagini sono state quindi ricampionate fino ad ottenere voxel (Fig.2) di dimensioni $(1.05mm \times 1.2mm \times 1.8mm)$.

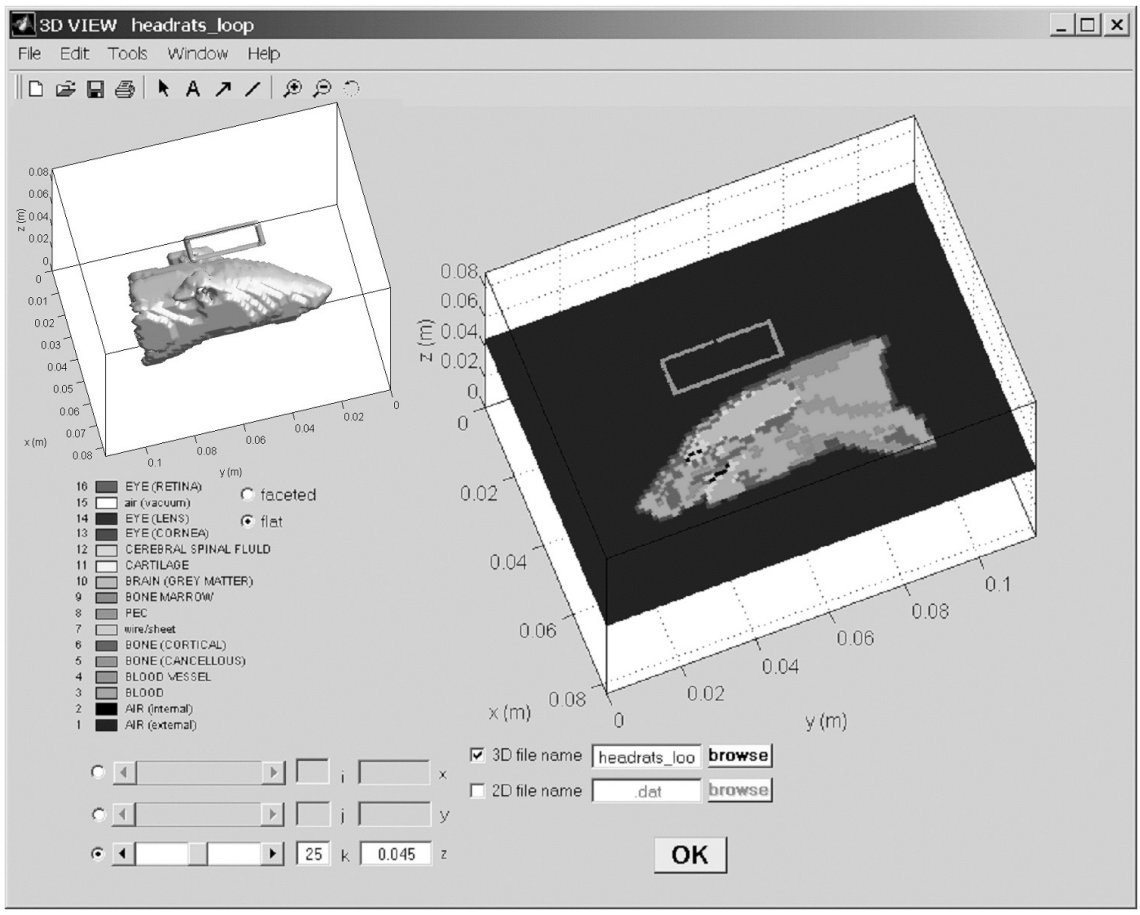

Fig.2: discretizzazione della testa di ratto irradiata da un loop rettangolare

La posizione relativa tra antenna e testa riproduce l'assetto espositivo descritto in [8]. Il loop è alimentato al centro con un generatore di tensione di 1Volt con andamento sinusoidale a 837 MHz. Il SAR è quindi normalizzato rispetto alla potenza complessivamente irradiata dall'antenna che è calcolata a partire da tensione e corrente ai terminali del loop. In Fig.3 si può osservare la sezione di elaborazione del SAR con la visualizzazione dell'istogramma dose-percentuale calcolato nel cervello. E' anche mostrato lo stesso grafico calcolato in [8]. In ambedue i casi si osserva che il valore di SAR maggiormente presente nel cervello è pari a circa il 15% del SAR massimo. In Fig.4 è mostrata la sezione di visualizzazione del SAR con l'evidente concentrazione di potenza nella regione dell'occhio.

In Tab.1 sono infine riportati i valori medi del SAR nel cervello e nella testa intera e si nota un sostanziale buon accordo con i dati presenti in [8].

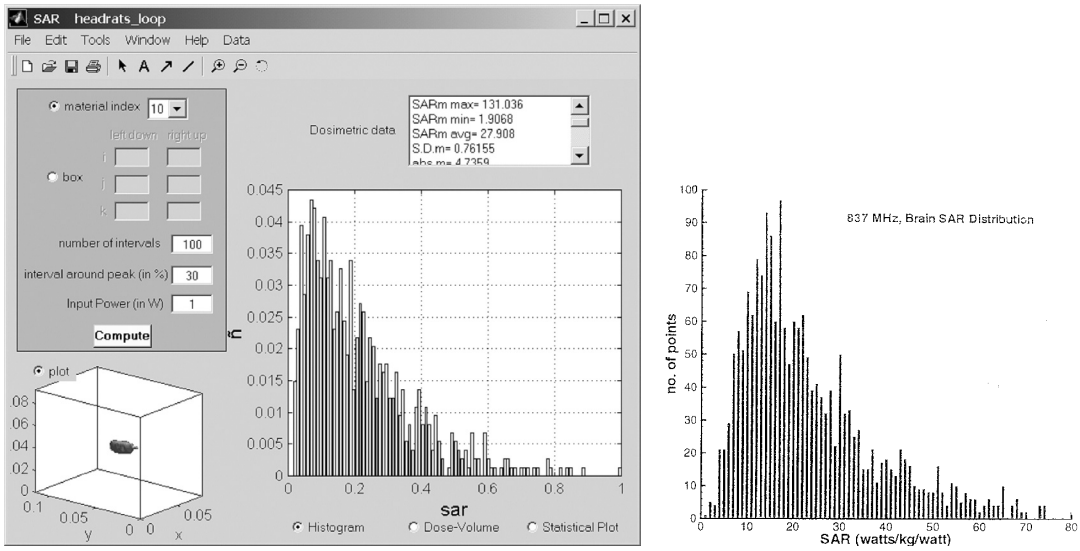

Fig.3: sinistra) sezione dedicata alla dosimetria: istogramma dose-percentuale; destra) stessa curva calcolata in [8]

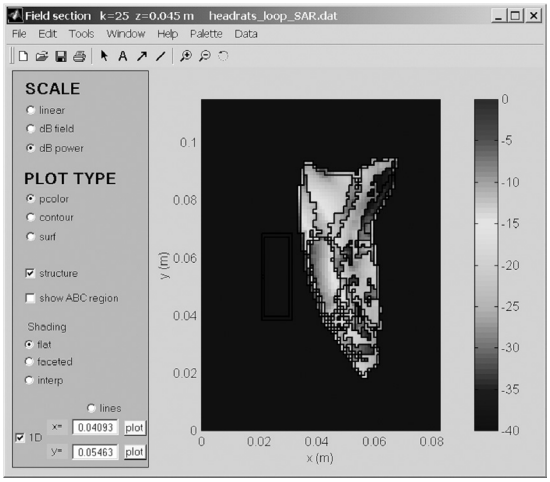

Fig.4: andamento del SAR normalizzato sulla sezione sagittale della testa passante per l'occhio

Tab.1: Sar massimo e SAR medio nel cervello e nell'intera testa calcolati in [8] e con il nuovo simulatore.

	Nuovo solutore		**Rif. [8]**	
	head	*brain*	*head*	*brain*
SAR_{max} (W/Kg)	*260.7*	*98.5*	*223*	*80.6*
SAR_{avg} (W/Kg)	*4.7*	*22.7*	*6.1*	*23.8*

[1] COST 244bis, Proceedings of the Workshop on exposure setups and their dosimetry, Zurich, 1999.

[2] Lovisolo G.A., Ardoino L., Pinto R., Mancini S. Electromagnetic field exposure systems: dosimetry and quality assurance in experimental laboratories. Proceedings of the XVIII National Meeting of the Italian Cytometry Society in Cytometry Meetings, LG 10/suppl.1, p.26, 2001.

[3] G. Marrocco, F. Bardati, "BEST: a finite-difference solver fo time electromagnetics", Simulation Practice Theory, N.7, pp. 279-293, 1999.

[4] K Maruyma, S. Mizushina, T. Sugiura, G.M.J. Van Leeuwen, J.W. Hand, G. Marrocco, F. Bardati, A.D. Edwards, D. Azzopardi, D. Land,, "Feasibility of non-invasive measurement of deep brain temperature in new-born infants by multi-frequency microwave radiometry", IEEE Trans. Microwave Theory Tech}., Vol. 48, pp.2141-2147, 2000.

[5] K.S.Cole and R.H.Cole: "Dispersion and absorption in dielectrics: I. Alternating current characteristics.", Journal of Chemical Physics, April 1941, pp.341-351.

[6] C.Gabriel and S.Gabriel: "Compilation of the Dielectric Properties of Body Tissues at RF and Microwave Frequencies", oppure http://safeemf.iroe.fi.cnr.it/doc/dielectric/home.html .

[7] A.W. Guy, C.K. Chou, and J.A. McDougall, "A quarter century of in vitro research: a new look at exposure methods", *Bioelectromagnetics*, 20:21-39 (1999)

[8] C.K. Chou, K.W. Chan, J.A. McDougall, and A.W. Guy, "Development of a rat head exposure system for simulating human exposure to RF fields from handheld wireless telephones", *Bioelectromagnetics*, 20:75-92 (1999).