PROGETTO E REALIZZAZIONE DI SISTEMI ESPOSITIVI PER ESPERIMENTI BIOLOGICI

L. Ardoino[1], R. Pinto[1], S. Mancini[1], G.A. Lovisolo[1], F. Apollonio[2] and G. D'Inzeo[2]
[1] ICEMB c/o Sezione di Tossicologia e Scienze Biomediche, ENEA,
via Anguillarese 301, 00060 Roma
[2] ICEMB c/o Dipartimento di Ingegneria Elettronica, Università di Roma "La Sapienza",
Via Eudossiana 18, 00184 Roma
lovisolo@casaccia.enea.it

Abstract

The definition and characterization of exposure systems is clearly one of the most important items in the experimental activity concerning the study of the biological effects of electromagnetic fields. Several steps must be followed in order to perform optimized exposure setups according to physical and biological requirements. In this paper some in vitro (WPC, shorted waveguide) and in vivo (TEM cell, loop array) exposure systems are shown.

INTRODUZIONE

Nello studio dell'interazione del campo elettromagnetico (EM) con i sistemi biologici la qualità dell'esperimento biologico è determinata dalla modalità di esposizione del campione. In questo contesto gioca un ruolo determinante il progetto e la realizzazione del sistema espositivo da utilizzare. In generale la messa a punto di un sistema espositivo, non comprende soltanto la progettazione della struttura EM e del sistema per la generazione del campo a microonde, ma anche la caratterizzazione EM, accurata e completa, dell'ambiente in cui vengono posti i campioni, la determinazione, attraverso misure e simulazioni, del SAR indotto ed infine, un'accurata analisi dei parametri ambientali per evitare condizioni di stress dei campioni biologici [1, 2].

In questo lavoro vengono presentati sistemi espositivi *in vivo* ed *in vitro* utilizzati per esporre i target biologici a campi EM ad alta frequenza (HF). Per tutti i sistemi viene effettuata una caratterizzazione numerica che viene successivamente verificata attraverso una fase sperimentale.

MATERIALI E METODI

Al fine di garantire un elevato standard di qualità nelle condizioni di esposizione si è reso utile evidenziare le seguenti fasi:

Analisi: questa fase prevede la definizione della tipologia di esperimento biologico che si intende realizzare (*in vivo* piuttosto che *in vitro*, prolungato piuttosto che limitato nel tempo, ecc.), il target biologico scelto e la tipologia di struttura espositiva (antenne, guide, ecc.). L'obiettivo di questa fase è quello di definire i requisiti e i vincoli della struttura espositiva da progettare.

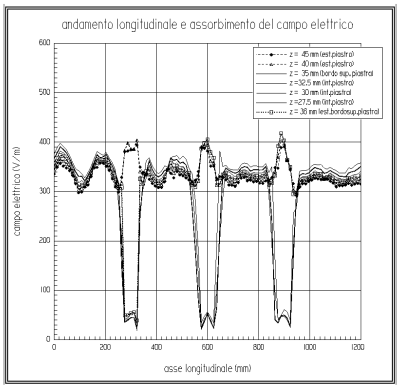
Progetto: questa fase prevede la caratterizzazione numerica del sistema espositivo al fine di conoscere nella struttura senza perdite (vuota) la distribuzione di campo EM e nella struttura con perdite (target biologico) la distribuzione di campo EM e quella di SAR nel campione.

Sintesi: questa fase prevede la realizzazione del sistema espositivo e la caratterizzazione sperimentale della struttura (misure di campo elettrico, magnetico, SAR).
Test e collaudo: una volta ultimata la struttura è possibile effettuare prove di funzionamento scegliendo opportunamente delle condizioni di esposizioni di riferimento. Attraverso questa fase è possibile anche stabilire i livelli di attendibilità delle misure.
Con questi criteri sono stati realizzati i sistemi impiegati nella sperimentazione biologica presso i laboratori del Centro Ricerche ENEA Casaccia di seguito descritti. La progettazione delle strutture presentate è stata portata a termine con l'impiego di diversi codici di calcolo (HFSS, XFDTD, CST Microwave Studio). Alcuni dei codici di simulazione (HFSS e CST) sono provvisti di una interfaccia grafica che consente di modellizzare le strutture senza introdurre eccessive approssimazioni geometriche e di variare con rapidità le impostazioni iniziali. In questo modo, il codice rappresenta un ausilio nella determinazione delle caratteristiche ottimali della struttura EM, nella scelta del posizionamento ottimo dei campioni e nell'esame della struttura con perdite. Il codice XFDTD, invece, richiede la definizione a priori dell'intero volume di interesse e delle caratteristiche del reticolo computazionale: per questo motivo, esso è particolarmente adatto a risolvere strutture geometricamente semplici e situazioni con un elevato grado di disomogeneità dei materiali (modelli biologici). Dopo la realizzazione della struttura, la messa a punto del sistema si articola nei seguenti passi: misure con analizzatore di rete e misure in aria con sensori di campo elettrico, valutazione dei disturbi introdotti dalle strutture di supporto e/o dalle gabbie degli animali, misure di SAR. La caratterizzazione sperimentale dei sistemi prevede sessioni di misura effettuate in momenti diversi al fine di quantificare l'incertezza associata alla misura.

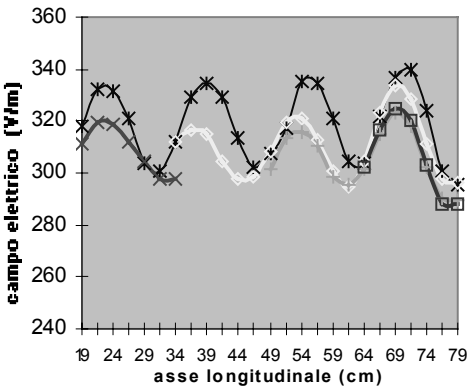
SISTEMI ESPOSITIVI

Esperimenti in vivo

Il primo sistema realizzato secondo i criteri sopra descritti è una particolare cella TEM allungata operante a 900 MHz. Le dimensioni trasversali, determinate convenzionalmente in funzione della frequenza di cut-off (modi superiori), sono di 12 x 12 cm, mentre la lunghezza è pari a 4λ (≈130 cm) allo scopo di consentire una buona ricostruzione del campo (modo TEM) in presenza di più campioni disposti longitudinalmente. Il risultato ottenuto, nel caso di tre oggetti equidistanziati, è mostrato in Figura1.



(a)



(b)

Figura1. Andamento del campo elettrico, in aria, lungo l'asse z in prossimità dell'asse mediano (metà superiore) della cella TEM in presenza di tre campioni equidistanziati. (a) numerico (HFSS); (b) sperimentale.

Sul piano trasversale, l'analisi della distribuzione del campo elettrico ha evidenziato due regioni di campo uniforme sufficientemente ampie per allocare animali (topi) senza che questi alterino, in maniera significativa, tale distribuzione. Sono state quindi effettuate valutazioni dosimetriche della struttura contenente i campioni (quattro): la potenza depositata nei singoli campioni è stata determinata sia numericamente che sperimentalmente, impiegando animali e fantocci omogenei opportunamente dimensionati
Un secondo sistema è stato messo a punto e realizzato allo scopo di irradiare localmente dei ratti (distretto cervico-encefalico e apparato uditivo). Esso consiste di un set di antenne a loop (a 900 e a 1800 MHz) realizzate mediante circuito stampato e dimensionate in modo da garantire un buon adattamento in presenza di materiale dissipativi. La caratterizzazione dosimetrica di questo sistema è stata effettuata essenzialmente attraverso simulazioni (XFDTD) che hanno permesso di valutare la distribuzione di SAR all'interno di un modello realistico di testa di ratto. La validazione sperimentale dei valori d'interesse è stata poi confermata su animali sacrificati, mediante l'impiego di sensori termici a fibra ottica con la tecnica dell'impulso di potenza [3].

Esperimenti in vitro

Due strutture risonanti "Wire Patch Cell" (a 900 e a 1800 MHz) sono state realizzate per l'esposizione di colture cellulari di vario tipo in piastre di Petri [4]. La struttura di ciascun dispositivo consiste di due piatti di rame di forma quadrata posti a opportuna distanza fra loro e cortocircuitati tramite 4 cilindri metallici posti ai loro vertici. L'alimentazione viene fornita tramite un cavo coassiale, il cui conduttore esterno viene saldato sul piatto superiore mentre quello interno è saldato sul piatto inferiore. I due sistemi hanno dimensioni tali (20x20x3 cm il più grande) da poter essere alloggiati in un incubatore. Essendo strutture aperte può essere facilmente garantito il controllo accurato delle condizioni di temperatura, umidità e concentrazione di CO_2 ed inoltre risulta facile il posizionamento dei campioni ed il loro prelievo per controlli in tempi diversi durante esposizioni prolungate. Ognuno dei due apparati consente di esporre simultaneamente quattro piastre di Petri da 3.5 cm di diametro ad un campo elettrico avente direzione ortogonale ai piatti metallici. Per evitare interferenze con il sistema di controllo dell'incubatore e riflessioni indesiderate sulle pareti interne ogni dispositivo è inserito in una gabbia schermante a pareti assorbenti.

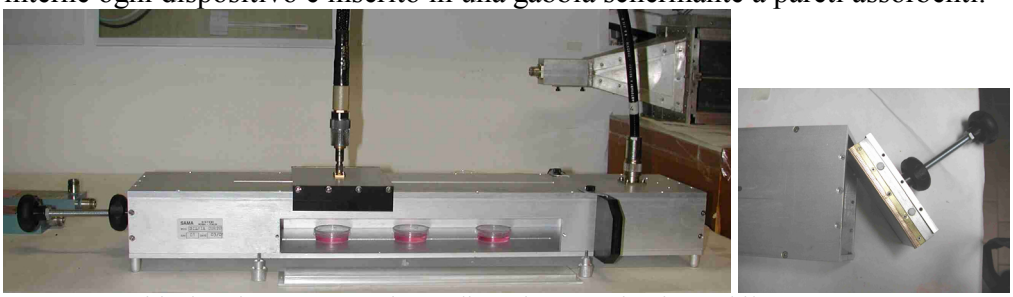


Figura 2. Guida d'onda aperta con piastre di Petri e cortocircuito mobile.

Per affrontare le frequenze UMTS è stata progettata una guida d'onda cortocircuitata [5] operante nell'intervallo di frequenze 1,8-2,2 GHz. La guida (15,2 x 5,6 x 51,6 cm), alimentata con un dipolo, è stata realizzata in alluminio e terminata da un corto circuito mobile per variare la frequenza di risonanza; un diaframma (iride) consente un buon

adattamento anche alla frequenza superiore. Su un lato è prevista la presenza di uno sportello per poter inserire i campioni da sottoporre all'esposizione (Figura 2).
Al fine di confrontare i sistemi espositivi dal punto di vista della capacità di indurre determinati livelli di SAR nei campioni è stato introdotto un parametro globale: l'efficienza della struttura. Esso viene definito come il valore di SAR indotto nel campione biologico esposto, a fronte di una potenza netta in ingresso alla struttura pari ad 1 W. Per una corretta valutazione delle proprietà di esposizione tale parametro dovrà essere accompagnato dalla distribuzione puntuale di campo EM all'interno della struttura. Nella Tabella I vengono presentati i valori di efficienza ottenuti per le diverse strutture esaminate, riportati con i relativi bersagli biologici e le relative frequenze di lavoro.

Tabella I. Classificazione dei sistemi espositivi in funzione del bersaglio biologico, della frequenza di utilizzo e dell'efficienza nella modalità di esposizione.

		Sistemi *in vivo*		**Sistemi *in vitro***	
		Cella TEM	**Loop**	**Wire Patch Cell**	**Shorted Waveguide**
Target biologico		Topi	ratti	Colture cellulari	Colture cellulari
Frequenza (MHz)		900	900 1800	900 1800	1800 2200
Efficienza $\left(\frac{\frac{W}{kg}}{W}\right)$	*numerica*	0,44	5,5	0,3	-
	sperimentale	0,8 ± 1 dB (fant.omog.) 0,4 ± 0,5 dB (topi)	4,5 ± 1 dB (900 MHz)	0,41 ± 1 dB (900 MHz)	15 ± 0.5 dB (1800 MHz)

I valori di efficienza ottenuti sperimentalmente sono accompagnati dalla relativa incertezza espressa in dB. E' possibile notare come l'efficienza della shorted waveguide, sfruttando le proprietà di risonanza della struttura, sia di gran lunga la più elevata.

Conclusioni

La validità dei risultati ottenuti in condizioni sperimentali di esposizione al campo EM è strettamente legata ad una corretta metodologia di progettazione e caratterizzazione dei sistemi espositivi. Sistemi basati su strutture EM risonanti presentano valori di efficienza maggiori di quelli relativi a strutture guidanti o radianti.

BIBLIOGRAFIA

[1] COST 244bis, Proceedings of the Workshop on exposure setups and their dosimetry, Zurich (1999).
[2] C. Pioli, L. Gatta, R Pinto, V. Ubaldi, G. Lovisolo, C. Marino. Does GSM (900 MHz) exposure affect immune responses. Proceedings of 5th International Congress of EBEA, eds. M. Hietanen, K. Jokela and J. Juutilainen, Helsinky, p. 260-262, 2001.
[3] G.A. Lovisolo, L. Ardoino, D. Asta, L. Galloni, R. Pinto, and C. Marino. Metodologie sperimentali nella ricerca bioelettromagnetica. Alta Frequenza, vol.11, n.3: 13-21, 1999
[4] L. Ciammetti, D. Asta, R. Pinto, S. Mancini, G. D'Inzeo, G.A. Lovisolo. Wire Patch Cell per la frequenza di 1800 MHz. Atti della XIII RiNEM, Como, pp.389-392, 2000.
[5] Ardoino L., Asta D., Galloni P., Lovisolo G.A., Mancini S., Marino C., Pinto R., Curto S, Argiolas C., d'Inzeo G. Sistemi espositivi per lo studio in vitro degli effetti dei campi elettromagnetici associati alla telefonia cellulare. Atti del Convegno Nazionale su "Problemi e tecniche di misura degli agenti fisici sul campo ambientale", Ivrea, 3-5 aprile, p. 115-118, 2001.