

# APPROCCIO PURAMENTE QUASISTATICO AL CALCOLO DEL TASSO DI ASSORBIMENTO SPECIFICO (SAR) DI UN SOGGETTO UMANO

*Francesco Lattarulo*

Dipartimento di Ingegneria Elettrica e dell'Informazione, Politecnico di Bari, Via Orabona, 4, Bari  
e-mail francesco.lattarulo@poliba.it

***Parole chiave: SAR, Dosimetria elettromagnetica, Vettore di Poynting***

Gli effetti biologici di tipo termico a carico di un corpo umano investito da radiazione non-ionizzante, nonché i conseguenti limiti normativi di sicurezza da esposizione, sono universalmente rappresentati dal tasso di assorbimento specifico (SAR) mediato sull'intero corpo. La letteratura non ha saputo presentare un'unica formulazione del SAR per tutto lo spettro di frequenze di interesse tecnico proprio perché incombe l'irresistibile pregiudizio secondo il quale i meccanismi d'interazione elettromagnetica che si instaurano, con specifico riferimento a quelli che procurano effetti termici, dipendono fortemente dalla frequenza in gioco. A sostenere questa interpretazione interviene prepotentemente ed acriticamente la classica differenziazione fra accoppiamento elettromagnetico a campo vicino (quindi quasi-stazionario) e quello a campo lontano (di radiazione), uno spartiacque determinato, come è ben noto, dalle dimensioni fisiche del corpo esposto rispetto alla lunghezza d'onda in esame. In realtà, il lavoro [1] si presenta come una coraggiosa incursione, sostenuta da ragioni convincenti, dell'approccio quasi-statico al calcolo del SAR anche nell'ampio spettro delle frequenze di radiazione. Ne è derivata una formulazione unificata, estesa quindi all'intero spettro, il cui grado di approssimazione è accettabile nella misura in cui si faccia riferimento a modelli non eccessivamente sofisticati di corpo umano. E' questo il caso del canonico modello omogeneo ellissoidale, molto utilizzato nelle applicazioni biomediche, che è stato preso in esame anche nella presente analisi. Lo stesso modello è suscettibile di utilizzazione più raffinata quando si ritiene di poter simulare l'anatomia articolata di un corpo umano con un insieme di ellissoidi interconnessi, così come si è fatto in precedenza per altre o contigue finalità (si veda la bibliografia inserita in [1]). Questa analisi si fonda sull'osservazione che la media nel periodo del vettore di Poynting per ogni punto nell'intorno di un corpo esposto – questo per semplicità può essere inteso perfettamente riflettente – è rappresentabile con un campo sostanzialmente stazionario e laplaciano, quindi tale da poter essere rappresentato come un campo vicino. L'apparente conflitto che appare ad una prima osservazione fra l'essere questo campo statico e quello originale incidente radiativo, trova una riconciliazione nel fatto che la reazione di un materiale generico ad un campo radiante di eccitazione coinvolge scambi energetici. Questi sono governati proprio dal parametro fisico prima definito - il valor medio nel tempo del vettore di Poynting - il cui campo, appunto, è per definizione statico.

Questa sorprendente ed attraente osservazione, sostenuta da una rigorosa ma scorrevole dimostrazione, consente di fatto di affrontare l'argomento SAR facendo esclusivo riferimento ad una trattazione campistica di tipo statico, indipendentemente dalla larghezza dello spettro di frequenze implicate nella esposizione elettromagnetica. E' stato quindi così possibile ampliare l'ambito dell'indagine con valutazioni minuziose ma agevoli sia della dosimetria esterna che di quella interna allo stesso corpo esposto, entrambe espresse in forma chiusa. Nel primo caso si tiene conto del campo, prima definito, depositato sulla superficie esposta del corpo umano ellissoidale inteso inizialmente come se fosse impenetrabile (quindi, perfettamente conduttore), per la qual cosa si è naturalmente tenuto conto della relativa componente scatterata del campo. Nel secondo caso, si è ammessa la penetrazione, comunque prevista essere piuttosto contenuta, del campo superficiale calcolato precedentemente, essendo questo non troppo disturbato da quella nelle reali circostanze di esposizione. La formula finale del SAR tiene comunque conto del carattere frequenza-dipendente dei parametri materiali medi coinvolti ed interni al corpo, ovvero la conducibilità e la permittività assunte (quelle di un muscolo) ed il relativo spessore di penetrazione. Le curve del SAR ottenute

analiticamente secondo il procedimento riassunto in questa memoria sono sostanzialmente simili alle corrispondenti che altrove sono state costruite - si badi bene - per interpolazione di un campionario di database discontinui. Questi rivengono da modelli diversi utilizzati da vari gruppi scongiurati di ricercatori ed applicati a ristretti campi di variazione della frequenza. A tal proposito si deve rilevare come il semplice modello unificato proposto presenta un importante supplemento di utilità che eccede la sua intrinseca praticità. Infatti, le curve continue e regolari così ottenute sono del tutto prive di picchi di risonanza, un significativo dettaglio, quest'ultimo, difforme rispetto alle curve confrontate disponibili in letteratura (a cui si è fatto cenno in precedenza). L'utilità supplementare del metodo consiste proprio nel fatto che si offre un valido argomento per ritenere inattendibile sul piano fisico il picco di risonanza rappresentato nelle ricostruzioni che si osservano ripetutamente altrove. L'autore ha ragione di credere, infatti, che questo dettaglio presente nella costruzione grafica dia adito ad un grave errore interpretativo dell'interazione fisica in esame. Il picco deriverebbe infatti dal tentativo incauto d'interpolare singoli tratti separati di curve, inserite artificiosamente in un unico grafico, benché siano state ottenute con diverse procedure in vari contesti.

Questo lavoro succede all'invito, rivolto all'autore da parte del guest editor, di contribuire ad un numero speciale dal titolo *Boundary Elements and other Reduction Methods in Bioelectromagnetics*. Ulteriori elementi informativi sono sotto l'intestazione Bibliografia.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] F. Lattarulo, V. Amoruso (2014); "Specific Absorption Rate (SAR) Revisited for the Ellipsoidal Model of a Human Body". *Engineering Analysis with Boundary Elements*. In press. Available on line 13 May 2014  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.enganabound.2014.04.015>