

USO DI TECNICHE DI ELETTRO E MAGNETO ENCEFALOGRAFIA COMBINATE CON LA TOMOGRAFIA DI IMPEDENZA NELLA LOCALIZZAZIONE DI SORGENTI CEREBRALI

I. M.V. Caminiti, A. Formisano, F. Ferraioli and R. Martone

Dip. Ing. Informazione, Seconda Università di Napoli,
Via Roma 29, 81031, Aversa (CE)

La ElettroEncefaloGrafia (EEG) e, più recentemente, la MagnetoEncefaloGrafia (MEG) stanno assumendo un ruolo sempre più rilevante nelle indagini funzionali sul cervello umano, sia per applicazioni scientifiche sia per la diagnostica clinica. Esse difatti sono in grado di fornire, se opportunamente elaborate, una ricostruzione delle correnti cerebrali, le quali forniscono a loro volta informazioni importanti sulla fisiologia cerebrale e su alcune patologie rilevanti sia per la loro gravità sia per la diffusione epidemiologica che le caratterizza, quali ad esempio le epilessie e gli Alzheimer.

Le due diagnostiche consentono la ricostruzione delle sorgenti cerebrali attraverso la soluzione di un problema inverso, a partire dalla misura di tensioni sullo scalpo (EEG) o di campi magnetici esterni al cranio (MEG). Ovviamente, tali misure dipendono non solo dall'attività neurale vera e propria, che, implicando flussi di ioni, può modellarsi come una corrente "primaria" a carattere dipolare, ma anche dalle correnti elettriche "di chiusura" che essa determina nella materia cerebrale, che loro volta dipendono anche dalle proprietà spaziali della materia cerebrale stessa.

Per questo motivo, per ricostruire le correnti "primarie", è necessario contestualmente ricostruire la distribuzione della conducibilità nelle varie aree del cervello. Nell'ipotesi di comportamento lineare dal punto di vista elettrico dei tessuti cerebrali, le misure dipendono linearmente dalle correnti dipolari con le quali si rappresentano usualmente i flussi ionici. Purtroppo però, a causa della dipendenza non lineare delle misure dalle conducibilità, le ricostruzioni debbono essere effettuate con processi di minimizzazione di opportune funzioni di errore, quali ad esempio:

$$E(\underline{r}_q, \underline{q}, \sigma) = \left\| \underline{U}(\underline{G}(\sigma, \underline{r}_q) \underline{q} - \underline{M}) \right\|^2 + \alpha^2 \left\| \underline{W} \underline{q} \right\|^2 \quad (1)$$

dove $\underline{G}$ è la matrice di Green, $\underline{M}$ è il vettore delle misure di tensione e magnetiche, $\underline{q}$ è l'array dei momenti di dipolo primario, $\underline{r}_q$ è l'array delle posizioni delle sorgenti, σ è il vettore delle conducibilità, $\underline{W}$ e $\underline{U}$ matrici di preconditionamento e α è un parametro di regolarizzazione.

Purtroppo, per motivi di mal condizionamento degli operatori coinvolti, la ricostruzione combinata di sorgenti e conducibilità è fortemente sensibile agli errori di misura e posizionamento. Recentemente è stato proposto di considerare, quale diagnostica addizionale, la Tomografia di Impedenza Elettrica (EIT), che punta sulla ricostruzione della mappa della conducibilità e, eventualmente, della costante dielettrica, a partire da misure esterne di impedenza effettuate a livelli adeguati di potenza, sullo scalpo del paziente. Una funzione errore per l'utilizzo della EIT può essere:

$$E(\mathbf{p}, \mathbf{V}_q) = \sum_{q=1}^{N_p} \left\| \mathbf{L}_1 \mathbf{Z} \mathbf{V}_q^{(m)} - (\mathbf{p}) \mathbf{L}_2 \right\|_2^2 + \xi \left\| \mathbf{p} - \mathbf{p}_0 \right\|_2^2 \quad (2)$$

dove $\mathbf{V}_q^{(m)}$ è la tensione misurata, $\mathbf{p}$ l'array dei parametri che definiscono l'ammettività, $\mathbf{Z}$ è la matrice delle impedenze, $\mathbf{L}_1$ e $\mathbf{L}_2$ opportune matrici di preconditionamento, e ξ un parametro di regolarizzazione analogo ad α nella (1).

Le caratteristiche dell'EIT possono risultare vantaggiose in quanto, non dipendendo da sorgenti incognite, essa può focalizzarsi sulla ricostruzione delle relazioni costitutive, lasciando alle misure EEG/MEG la esclusiva identificazione delle correnti dipolari, potendo, tra l'altro, anche utilizzare le tecniche più rapide e accurate disponibili per i problemi lineari.

La ricerca sviluppata presso l'unità della Seconda Università di Napoli conferma la possibilità di accoppiare efficacemente le diagnostiche disponibili, conseguendo utili vantaggi in termini di miglioramento delle accuratezze, di riduzione della sensibilità alle incertezze e di reiezione del rumore. In Fig. 1-4 alcune illustrazioni degli approcci descritti.

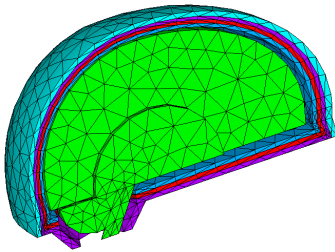


Figura 1: Esempio di discretizzazione 3D di un cervello realistico.

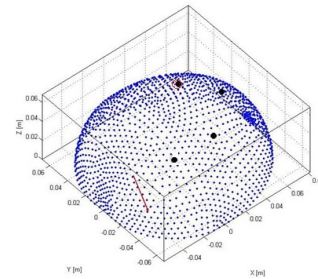


Figura 2: Esempio di allocazione di sonde EEG e MEG

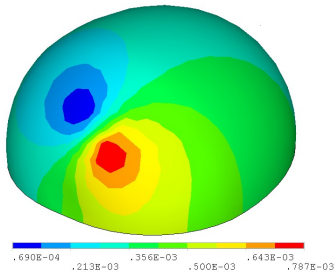


Figura 3: mappa di potenziale sullo scalpo per effetto di una singolo dipolo di corrente cerebrale

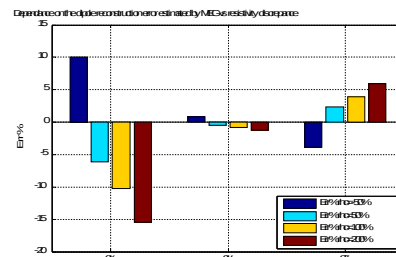


Figura 4: Dipendenza della accuratezza della ricostruzione di un dipolo di corrente in relazione a possibili errori della conducibilità del cervello

Referenze

- [1] Caminiti I. M. V., Ferraioli F., Formisano A., Martone R., "Interlaced Resolution Scheme for the Simultaneous Analysis of Brain Electric Activity and Conductivity with Combined EEG/MEG Diagnostics" (COMPEL), Vol. 29 No. 6, 2010.
- [2] Caminiti I. M. V., Ferraioli F., Formisano A., Martone R., "Optimized Testing Procedure for Electrical Impedance Tomography" paper presented at XIV International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering Arras, France, September 10-12, 2009
- [3] Cutrupi V., Ferraioli F., Formisano A. and Martone R. (2009), "Effect of anisotropy in estimation of brain sources and conductivities via coupled EEG and MEG",

International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics (IJAEM), Vol. 30 No. 3-4, pp. 277-288.

- [4] Sarvas J. (1987), “Basic Mathematical and Electromagnetic Concepts of the Biomagnetic Inverse Problem”, *Pys. Med. Biol.*, Vol. 32 No. 1, pp. 11-22.