PROBLEMI INVERSI ELETTROMAGNETICI NELLA DIAGNOSTICA MEDICA NON INVASIVA

I. Caminiti[1], V. Cutrupi[1], F. Ferraioli[2], A. Formisano[1], F. Iacotucci[1], C. Lupoli[1], R. Martone[1]

[1]Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Seconda Università di Napoli, Real Casa dell'Annunziata, Via Roma 29, 81031, Aversa (CE)

[2] Ansaldo Ricerche NA,Via N. delle Brecce 230, Napoli, 80100

Alcune delle tecniche di diagnostica medica non invasiva più efficaci introdotte negli ultimi anni si basano sull'uso di fenomeni di carattere elettromagnetico. A titolo di esempio, si ricordi la tomografia a raggi X (TAC), la tomografia di impedenza (EIT), la risonanza magnetica nucleare (MRI), e infine le tecniche di analisi dell'attività cerebrale basate sulla misura dei potenziali di scalpo (EEG) o sulla misura dei campi magnetici prodotti dal cervello (MEG). Tali diagnostiche si inquadrano nella classe matematica dei problemi inversi [1-3]. Difatti, a partire dalla misura di grandezze fisiche esterne, le tecnologie diagnostiche cercano di ricostruire informazioni sulla effettiva caratterizzazione dell'organismo sotto osservazione, con gli inevitabili limiti posti dalla natura mal-condizionata del problema [4]. Tra tutti i settori della fisica che forniscono supporto alla diagnostica medica, un posto di rilievo spetta all'elettromagnetismo quasistazionario (EMQS). La particolare efficacia dell'EMQS nel panorama delle tecniche diagnostiche si giustifica ampiamente se si osserva la ricca e diversificata attività bioelettrica e biomagnetica di molti degli organi umani, esaminando la quale è possibile trarre importanti informazioni sul loro stato e sulla loro funzionalità. Si giustifica anche se si pensa alle caratteristiche (in particolare la conducibilità e la costante dielettrica) di molti dei tessuti oggetto dell'interesse diagnostico, che ben si prestano alla indagine elettromagnetica, nonché ai tempi di evoluzione caratteristici dei sistemi biologici, che, se non sollecitati da sorgenti esterne ad alta frequenza, si rivelano perfettamente compatibili con le ipotesi di quasi stazionarietà dei fenomeni elettromagnetici.

Le procedure di diagnostica includono tipicamente due momenti fondamentali. Il primo è il processo di misura vero e proprio, mentre il secondo è l'analisi dei dati, mirata a fornire, partendo dalle misure, una loro interpretazione "leggibile" ai fini della diagnostica. L'attività dei ricercatori dell'Unità di Elettrotecnica della Seconda Università di Napoli si sviluppa in entrambi gli ambiti. Una breve sintesi dei principali risultati conseguiti negli ultimi mesi nel settore è riportata in questa memoria.

In riferimento al processo di misura, si sono considerati gli aspetti relativi al miglioramento delle prestazioni del sistema nel suo insieme, sia in termini di rapporto segnale rumore, sia di quantità di informazione disponibile, ottenibili grazie ad una scelta opportuna della posizione e delle caratteristiche dei sensori stessi. Le applicazioni nell'ambito biomedico hanno riguardato in particolare la scelta ottima dei sensori di tensione per il monitoraggio del processo di ablazione termica dei tumori epatici mediante EIT in presenza di incertezza sui parametri elettromagnetici dei tessuti coinvolti [5]. In particolare, a partire da un'immagine MRI del torso del paziente, viene costruito un modello ad elementi finiti che include sia le equazioni dell'EMQS che l'equazione di diffusione del calore in tessuti viventi. Mediante l'analisi di sensibilità della mappa di potenziale sulla pelle del paziente, vengono determinati i punti in cui la sensibilità rispetto alle variazioni della massa tumorale è maggiore di quella rispetto, ad esempio, a variazioni della conducibilità del fegato. I punti così selezionati verranno utilizzati per piazzare gli elettrodi per la stima della quantità di massa tumorale

residua, mentre gli altri saranno utilizzati per la stima della conducibilità del fegato, da impiegare come informazione a priori nel processo di ricostruzione (Fig. 1).

In riferimento alla risoluzione del problema inverso, i ricercatori dell'unità hanno sviluppato una tecnica basata sull'uso del *soft computing* per la risoluzione dei problemi inversi derivanti dall'interpretazione delle diagnostiche mediche, in particolare delle misure di tipo EIT. Lo scopo è ancora una volta quello di ridurre l'impatto delle incertezze e del rumore di misura, utilizzando stavolta l'intrinseca robustezza delle reti neurali rispetto a tali problemi.
In particolare, la ricostruzione della massa tumorale residua durante il processo di ablazione è affidata ad una rete neurale di tipo *feed-forward* che, avendo in ingresso il valore dei potenziali elettrici sulla pelle del paziente, produce una stima delle dimensioni della parte bruciata del tumore [6]. Allo scopo di valutare anche in questo caso l'effetto dell'incertezza sui parametri elettrici degli organi interni, si sono considerate due diverse situazioni, una in cui la conducibilità del fegato non è nota (TS1), e una in cui essa è nota (TS2). Le due diverse ricostruzioni mediante rete neurale sono state poi confrontate con quelle ottenute utilizzando una tecnica classica (minimizzazione dello scarto tra misure vere e simulate mediante algoritmo SQP). Un esempio dei risultati ottenuti è riportato in Fig.2.

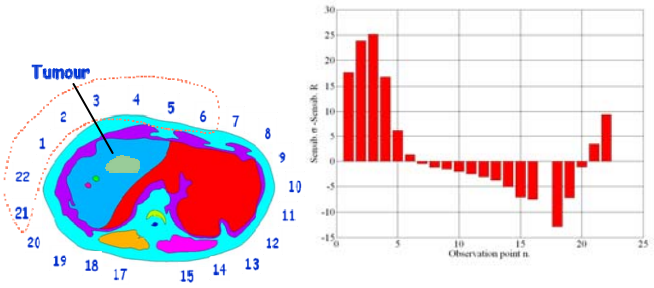

Fig. 1 – Allocazione di un insieme di sonde di potenziale sul torso di un paziente affetto da tumore epatico (sinistra) e differenza di sensibilità delle sonde rispetto alla massa tumorale e rispetto alla conducibilità del fegato (destra).

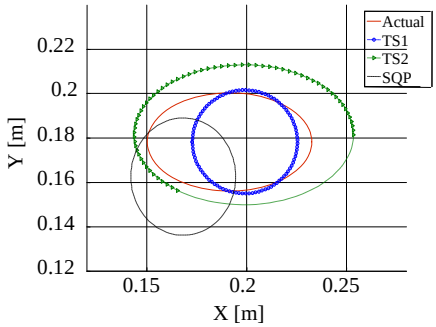

Fig. 2 – Differenti ricostruzioni del profilo della massa tumorale ottenute utilizzando reti neurali (con e senza informazione sulla conducibilità del fegato) o SQP.

BIBLIOGRAFIA

[1] H.W. Engl, P. Manselli Eds, *Inverse Problems in Medical Imaging and Nondestructive Testing*, Wien: Springer, 1996.

[2] D. Colton, P. Monk, *Inverse Acoustic and Electromagnetic Scattering Theory*, Berlin: Springer, 1992

[3] M. Cheney, D. Isaacson, J. C. Newell, "Electrical Impedance Tomography", *SIAM Review*, Vol..41 pp. 85-101, (1999).

[4] A. Formisano, "Regularization of Magnetostatic Inverse Problems: Possibilities and Pitfalls", *Compel*, 2005 - volume 24 – issue 3

[5] F. Ferraioli, A. Formisano, R. Martone, "Effective Exploitation of Prior Information in Electrical Impedance Tomography for Thermal Monitoring of Hyperthermia Treatments", *Proc. of CEFC 2008*, Atene (GR), 12-15 Maggio 2008

[6] M. Cioffi, V. Cutrupi, F. Ferraioli, A. Formisano, R. Martone, "Soft Computing Approaches for the Resolution of Electromagnetic Inverse Problems", *Proc. of KES07*, Vietri sul Mare (IT), 11-13 Sett. 2007