

# MODELLIZZAZIONE DEL VETTORE DIPOLO CARDIACO E GENERAZIONE DI ECG SINTETICI A 12 DERIVAZIONI

Matteo Cacciola, Giuseppina Inuso, Fabio La Foresta, Nadia Mammone  
Giuseppe Megali, Francesco Carlo Morabito, Mario Versaci

Dipartimento di Informatica Matematica Elettronica e Trasporti  
Università "Mediterranea" degli Studi di Reggio Calabria  
via Graziella Feo di Vito, 891122 Reggio Calabria - Italia

## 1. Introduzione

L'attività di ricerca svolta nel corso dell'ultimo anno dall'Unità di Ricerca di Reggio Calabria nell'ambito dell'elaborazione di segnali biomedici è stata indirizzata anche allo studio dell'apparato cardio-respiratorio. In particolare sono stati sviluppati modelli dinamici per la caratterizzazione e la simulazione del segnale elettrocardiografico (ECG); tali modelli consentono di riprodurre le componenti tridimensionali del vettore dipolo cardiaco per la generazione di ECG sintetici patologici a 12 derivazioni. L'attività di ricerca è stata supportata dalla collaborazione con il Centro di Cardiologia ALPIGI di Reggio Calabria.

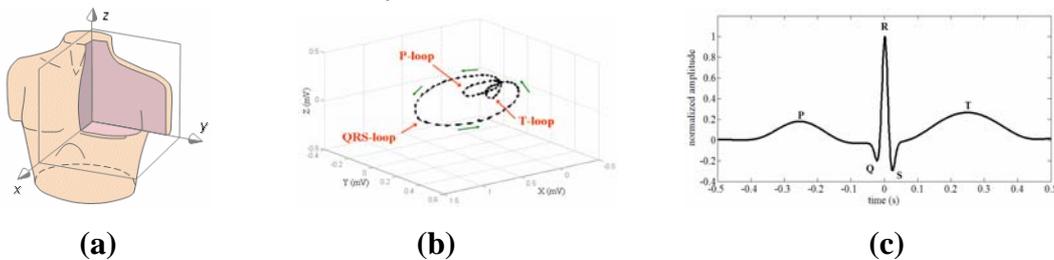
## 2. Modellizzazione del Vettore Dipolo Cardiaco

Gran parte delle patologie cardiache possono essere diagnosticate mediante analisi dei tracciati ECG. Ciò è possibile perchè il segnale ECG è strettamente legato alla fisiologia del muscolo cardiaco e ogni porzione del complesso PQRST (vedi Fig. 1c) rispecchia le fasi di contrazione del cuore. Infatti l'ECG è una misura dell'effetto prodotto dal Vettore Dipolo Cardiaco (VDC) che il cuore genera durante la propria attività. Il VDC può essere rappresentato in un sistema di riferimento cartesiano che assume come origine il cuore stesso, come illustrato in Fig. 1a (per maggiori dettagli sul modello consultare [1]) :

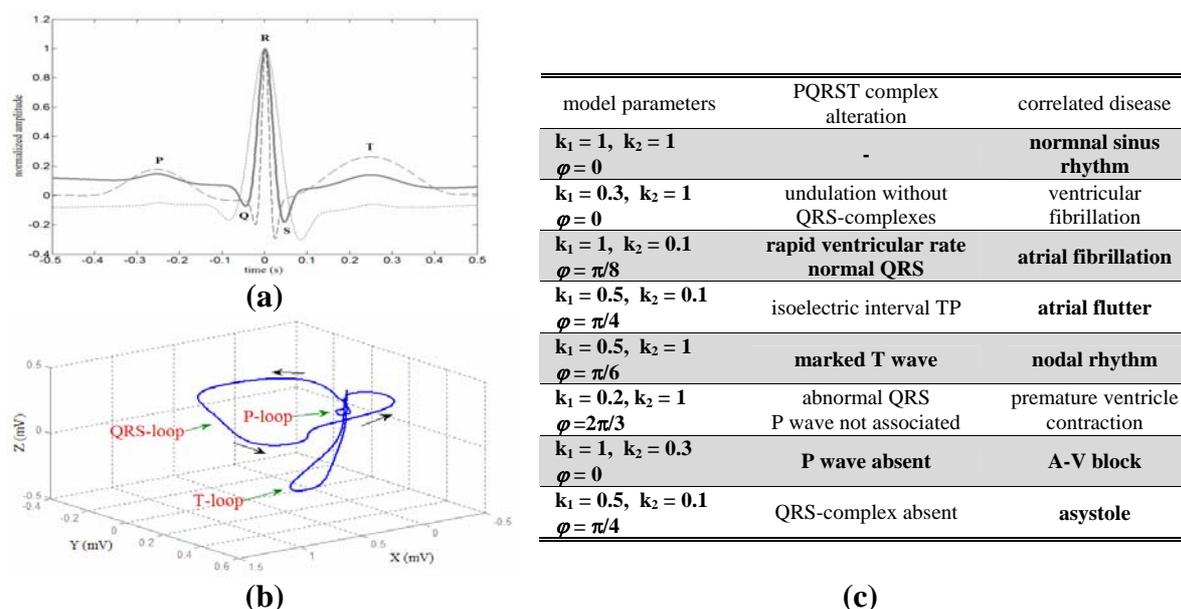
$$\mathbf{d}(t) = d_x(t)\mathbf{i}_x + d_y(t)\mathbf{i}_y + d_z(t)\mathbf{i}_z, \text{ con } \dot{d}_j = -\sum_i \alpha_i^j \left| \theta - \theta_i^j \right|_{2\pi} \exp \left[ -\left( \frac{\Delta \theta_i^j}{\sqrt{2} b_i^j} \right)^2 \right] - d_j \text{ per } j = x, y, z$$

La Fig. 1b mostra invece la traiettoria del VDC descritta nello spazio tridimensionale durante un ciclo cardiaco completo. Noto il VDC, è possibile generare un ECG completo a 12 derivazioni mediante il seguente modello:

$$\text{ECG}(t)_{12\text{-lead}} = \mathbf{H} \cdot \mathbf{V} \cdot \mathbf{d}(t) + \mathbf{N}(t), \text{ con } \begin{cases} \mathbf{H} \text{ è una matrice } 12 \times 3 \text{ che tiene conto del modello del corpo} \\ \mathbf{V} \text{ è una matrice } 3 \times 3 \text{ che proietta il VDC lungo l'asse dell'elettrodo} \\ \mathbf{N}(t) \text{ rappresenta il rumore su ciascuno dei 12 canali dell'ECG} \end{cases}$$



**Fig. 1** – (a) Sistema di riferimento adottato per la rappresentazione del dipolo cardiaco, (b) traiettoria 3D teorica del dipolo cardiaco (le frecce indicano la direzione di rotazione) e (c) proiezione del dipolo cardiaco sul piano frontale (piano x-z).



**Fig. 2** – (a) Alcuni esempi di ECG sintetici simulati dal modello (derivazione I): (b) Traiettorie 3D del vettore dipolo cardiaco relativa alla patologia “ritmo nodale”. (c) Tabella riportante alcune configurazioni parametriche del modello per la generazione di dipoli cardiaci patologici

In Fig. 2 sono riportati alcuni risultati che mettono in evidenza le potenzialità del modello; in particolare in (a) sono rappresentati alcune morfologie del complesso PQRST, in (b) è raffigurato un ciclo cardiaco completo relativo alla patologia “ritmo nodale”, infine in (c) sono riportate alcune configurazioni parametriche del modello per la simulazione di patologie cardiache. Gli sviluppi futuri saranno orientati alla caratterizzazione dei parametri per la simulazione di un maggior numero di patologie e all’analisi e modellizzazione del rumore presente nei tracciati ECG.

L’attività di ricerca è stata anche supportata sperimentalmente dall’apparecchiatura BIOPAC Systems Inc. per l’acquisizione e la successiva elaborazione di segnali ECG presente nel nostro laboratorio.

## Bibliografia

- [1] F. La Foresta, N. Mammone, F.C. Morabito, *A dynamic model to Simulate Pathologic Electrocardiograms*, in Proceedings of The 13<sup>th</sup> Biennial IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation (CEFC 2008), p. 856, 2008.
- [2] F. La Foresta, M. Cacciola, N. Mammone, F.C. Morabito, and M. Versaci, *Inverse Problem Solution to Evaluate the Bioelectric Field of Fetal Heart Muscle: Remarks on Electrodes Placement* – in stampa su International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, 2007.
- [3] F. La Foresta, N. Mammone, F.C. Morabito, *Artifact Cancellation from Electrocardiogram by Mixed Wavelet-ICA Filter* - Springer-Verlag, Lecture Notes in Computer Science vol. 3931, pp. 78-82, 2006.
- [4] F. La Foresta, N. Mammone, F.C. Morabito, *Bioelectric Activity Evaluation of Fetal Muscle by Mother ECG Processing*, in Proceedings of The 12<sup>th</sup> Biennial IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation (CEFC 2006), p. 132, 2006.
- [5] P.E. McSharry, G.D. Clifford, L. Tarassenko, L. A. Smith, *A dynamical model for generating synthetic electrocardiogram signals*, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 50, n. 3, pp. 289-294, 2003.
- [6] R. Sameni, G. D. Clifford, C. Jutten, M. B. Shamsollahi, *Multi-Channel ECG and Noise Modeling: Application to Maternal and Fetal ECG Signals*, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, Volume 2007, Article ID 43407, 14 pages, doi:10.1155/2007/43407.