

ANALISI NON-LINEARE DI TRACCIATI EEG PER LO STUDIO DELLE DINAMICHE E DELLE INTERCONNESSIONI CEREBRALI DI PAZIENTI ALZHEIMER

Francesco Carlo Morabito¹, Salvatore Calcagno¹, Maurizio Campolo¹, Domenico Labate¹,
Fabio La Foresta¹, Nadia Mammone¹, Giuseppe Morabito², Isabella Palamara¹, Mario Versaci¹,
Elisa Capecci³, Nicola Kasabov³, Lilla Bonanno⁴, Alessia Bramanti⁴, Placido Bramanti⁴, Silvia Marino⁴

¹DICEAM Università “Mediterranea” degli Studi di Reggio Calabria

²Università degli Studi di Pavia

³KEDRI Auckland University of Technology, Auckland, New Zealand

⁴IRCCS Centro Neurolesi “Bonino Pulejo” di Messina

L’Unità di Reggio Calabria ha continuato la propria attività di ricerca nell’ambito della diagnosi precoce del morbo di Alzheimer (AD). L’attività di ricerca è condotta in sinergia con l’IRCCS Centro Neurolesi “Bonino Pulejo” di Messina e nell’ultimo anno si è soffermata sui seguenti aspetti:

- 1) Analisi di misure di complessità multiscala/multivariata: Sample Entropy, Permutation Entropy, Lempel Ziv complexity;
- 2) Analisi di algoritmi di compressibilità;
- 3) Utilizzo del toolbox NeuCube in cooperazione con *Knowledge Engineering and Discovery Research Institute*, Auckland University of Technology, New Zealand.

Le analisi sono state condotte su tracciati EEG di pazienti (uomini di età compresa fra i 60-75 anni) suddivisi in: soggetti sani (HC), pazienti allo stadio iniziale della malattia (MCI) e pazienti affetti dalla malattia (AD).

1) Misure di complessità

E’ noto che i tracciati EEG di soggetti AD si modificano con il progredire della malattia. In particolare si riscontrano tre aspetti caratteristici: (i) *slowing*, ovvero l’aumento delle potenze relative alle basse frequenze, (ii) *riduzione di complessità* e (iii) *perdita di sincronia* tra gli elettrodi. Le misure di complessità analizzate sono: Permutation Entropy [1], Sample Entropy [2] e Lempel Ziv Complexity [3]. Poiché i tracciati EEG sono segnali multidimensionali che riflettono correlazioni a scale differenti, incluse le interazioni a lungo raggio, e poiché AD danneggia gli assoni neurali è stata effettuata un’analisi di complessità multiscala. In figura 1 sono mostrati alcuni risultati, in particolare viene evidenziato l’andamento della Permutation Entropy, Sample Entropy e Lempel Ziv per le tre categorie di pazienti (HC, MCI e AD). Tali analisi di complessità potrebbero rappresentare dei bio-markers utili per evidenziare eventuali demenze patologiche.

2) Compressive sensing

La compressibilità, nota anche come *compressive sensing* [4], è processo di acquisizione e di ricostruzione di un segnale che tende a “comprimere l’informazione” basandosi sulla ridondanza presente nei segnali oggetto di studio. Molti segnali, infatti, sono sparsi, cioè, contengono molte componenti vicine a zero quando vengono rappresentati in un opportuno dominio. L’analisi di compressibilità è stata eseguita mediante l’algoritmo Block Sparse Bayesian Learning (BSBL) [5], [6]. In figura 2 è riportato l’andamento del segnale originale e del segnale ricostruito utilizzando l’algoritmo BSBL. I risultati ottenuti [7], [8] incoraggiano l’uso di tecniche di compressione come approccio complementare per il monitoraggio di pazienti AD.

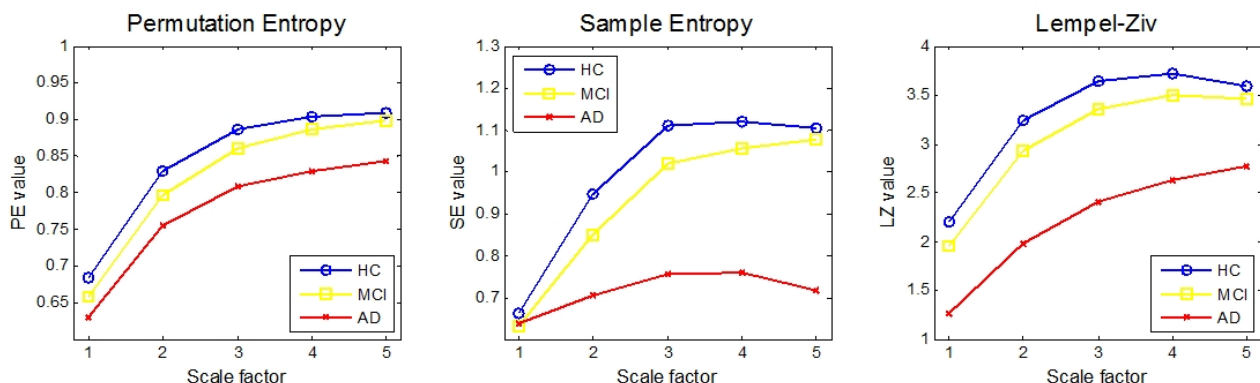


Fig.1 - Andamento della Permutation Entropy, Sample Entropy e Lempel Ziv per le tre categorie di pazienti.

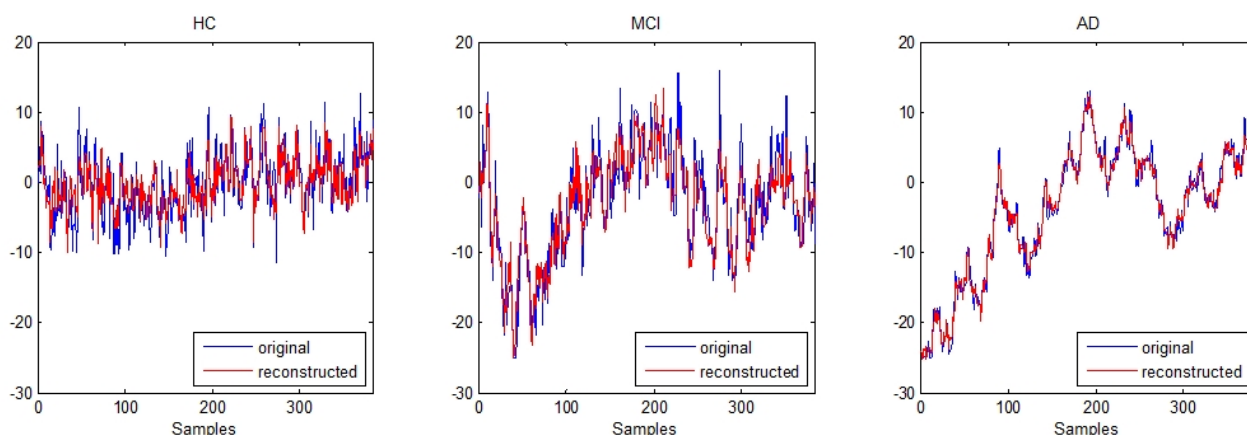


Fig. 2 - Andamento del segnale originale e del segnale ricostruito per le tre categorie di pazienti.

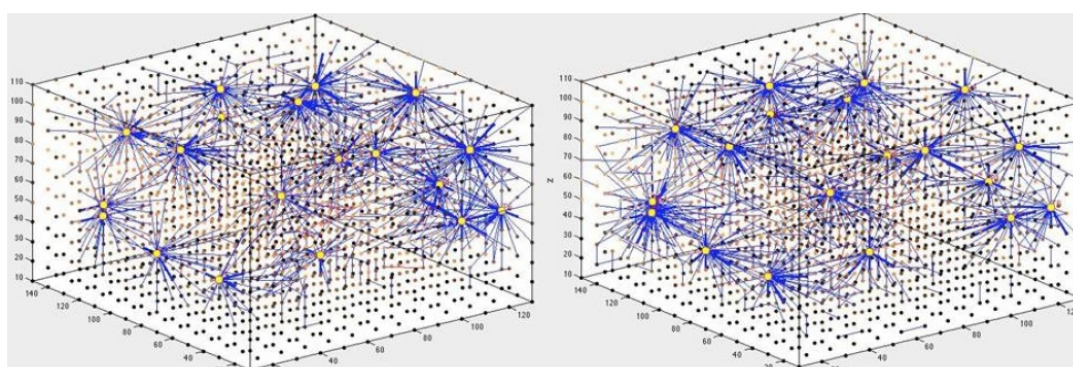


Fig.3 - Esempio di modello NeuCube in cui vengono rappresentate le connessioni SSN dopo la procedura di training. A destra un soggetto HC e a sinistra un soggetto AD. Le linee blu indicano connessioni positive e le linee rosse quelle negative. In giallo sono i neuroni di input che corrispondono ai canali 19 EEG.

3) NeuCube System

NeuCube System [9] è un nuovo modello 3D di “spiking neural networks (SNN)” per la creazione di modelli per “mappare”, studiare e capire meglio dati fisiologici (Spatio- and spectro-temporal brain data – STBD-). In figura 3 è mostrato un esempio di modello NeuCube applicato a dati EEG. Tale modello “ha imparato” dai dati forniti in ingresso e ha creato una rete di connessioni fra cluster di neuroni che manifestano traiettorie di attività neurale che, dopo la procedura di training, ha riprodotto. Il NeuCube può essere utilizzato non solo per evidenziare percorsi funzionali dei dati ma anche come metodo “predittivo” delle attività mentali e cercare, così, di “prevedere” alcuni eventi. L’analisi della struttura interna di un modello NeuCube, infatti, può rivelare alcune relazioni “spazio-temporali” nascoste nei dati.

Bibliografia

- [1] Bandt C., Pompe B., Permutation entropy, a natural complexity measure for time series, Phys. Rev. Lett., Vol.88, No.17, 174102, 2002.
- [2] J.S. Richman, J.R. Moorman, “Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy,” Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. 278, 2000.
- [3] A. Lempel, J. Ziv, “On the complexity of finite sequences,” IEEE Trans Inform Theory, 22:75–81, 1976.
- [4] Baraniuk, R. G., Cevher, V., Duarte, M. F. and Hegde, C. “Model-based compressive sensing,” IEEE Trans. on Information Theory, 56, (4), 1982–2001 (2010).
- [5] Zhang, Z., Jung, T.P., Makeig, S. and Rao, B.D, “Compressed Sensing for Energy-Efficient Wireless Telemonitoring of Non-Invasive Fetal ECG via Block Sparse Bayesian Learning” IEEE Trans Biomed Eng, 60 (2), 300-309 (2012).
- [6] Zhang, Z., Jung, T.P., Makeig, S. and Rao, B.D, “Compressed Sensing of EEG for Wireless Telemonitoring with Low Energy Consumption and Inexpensive Hardware”, IEEE Trans Biomed Eng, 60 (1), 221-224 (2013).
- [7] F.C. Morabito, D. Labate, A. Bramanti, F. La Foresta, G. Morabito, I. Palamara, H.H. Szu, Enhanced Compressibility of EEG Signal in Alzheimer’s Disease Patients, IEEE Sensors Journal, DOI : 10.1109/JSEN.2013.2263794, 2013.
- [8] F.C. Morabito, D. Labate, F. La Foresta, A. Bramanti, G. Morabito, I. Palamara, Multivariate Multi-Scale Permutation Entropy for Complexity Analysis of Alzheimer’s Disease EEG, Entropy 2012, 14(7), 1186-1202.
- [9] Kasabov, N.K.: Neucube: A spiking neural network architecture for mapping, learning and understanding of spatio-temporal brain data. Neural Networks 52, 62-76 (2014)