



Allegato 1

**Scheda di proposta per progetto di ricerca sviluppato da Gruppo di Ricerca
Anno 2023**

TITOLO DELLA RICERCA

**Stochastic Hybrid Models to Identify and
Predict Brain-Heart Interactions**

PAROLE CHIAVE

1	Statistical signal processing
2	Information Theory
3	Brain and physiological interactions
4	Mathematical models
5	Hybrid dynamical systems
6	Filtering and estimation theory

PROPONENTE/COORDINATORE

COGNOME E NOME Sferlazza Antonino

RUOLO Ricercatore RTD-B

E-MAIL antonino.sferlazza@unipa.it

SSD ING-INF/04

RICERCATORI DEL DIPARTIMENTO PARTECIPANTI

N.	COGNOME E NOME	RUOLO	SSD
1	Antonino Sferlazza	RTDb	ING-INF/04
2	Yuri Antonacci	RTDa	ING-INF/06
3	Rossella Rizzo	RTDa	MAT/07



RICERCATORI ESTERNI PARTECIPANTI

N.	COGNOME E NOME	RUOLO	UNIVERSITA'/ORGANIZZ. ESTERNA
1	Luca Zaccarian	Senior Researcher	LAAS CNRS (France)
2	Sophie Tarbouriech	Senior Researcher	LAAS CNRS (France)
2	Minati Ludovico	Research professor	University of Electronic Science and Technology (China)
3	Mijatovic Gorana	Assistant Professor	University of Novi Sad (Serbia)
4	Plamen Ch Ivanov	Research Professor	Boston University (USA)

SCOPO, DESCRIZIONE E RISULTATI ATTESI DELLA RICERCA

Stato dell'arte (max 10 righe):

Network Physiology is a rapidly growing field of study that aims to understand how physiological systems interact [a]. In this context, the interplay between brain and heart has a significant role [b]. The information storage measures the regularity and predictability of physiological interactions between brain and heart, under stationarity assumption [c]. However, this assumption does not allow to track over time the transient pathways occurring in dynamical activity. Recently [d] tried to remove the stationary hypothesis by proposing an RLS algorithm for the analysis of EEG signals. Data analysis theory presents several solutions to cope with non-stationary signals, and many of them can be employed in the analysis of heart and brain activity. In particular, hybrid modelling [e], and related prediction schemes, allow for robust estimation and improved short-term prediction [f,g].

[a] Ivanov, Plamen Ch. "The new field of network physiology: building the human physiologie." *Frontiers in Network Physiology* 1 (2021): 711778.

[b] Catrambone, V., and Valenza, G. (2021). *Functional brain-heart interplay*. Springer

[c] Lizier, Joseph T., Mikhail Prokopenko, and Albert Y. Zomaya. "Local measures of information storage in complex distributed computation." *Information Sciences* 208 (2012): 39-54.

[d] Antonacci, Y., Barà, C., Zaccaro, A., Ferri, F., Pernice, R., & Faes, L. Time-Varying Information Measures: An Adaptive Estimation of Information Storage with Application to Brain-Heart Interactions. *Frontiers in Network Physiology*, 3, 1242505.

[e] Goebel, R., Sanfelice, R. G., & Teel, A. R. (2009). Hybrid dynamical systems. *IEEE control systems magazine*, 29(2), 28-93.

[f] Hulhoven, X., Hanus, R., & Bogaerts, P. (2004). Stochastic hybrid observer for bioprocess state estimation. *IFAC Proceedings Volumes*, 37(3), 19-24.

[g] Kong, N. J., Payne, J. J., Council, G., & Johnson, A. M. (2021). The Salted Kalman Filter: Kalman filtering on hybrid dynamical systems. *Automatica*, 131, 109752.

Obiettivi, ipotesi e metodologia (max 12 righe):

The first aim of this proposal is the development of new mathematical models to describe the complex dynamics of brain-heart interactions (i) by studying the behavior of excitable cells within these systems, and (ii) by investigating on correlations between brain and heart signals expressed as time series. The second objective is twofold: firstly, we need to leverage these models for a deeper understanding of the intricate relationship between brain and heart, and secondly, we aim to introduce innovative estimation strategies for this



interplay by relaxing assumptions of stationarity. To achieve the first goal, model theory and hybrid dynamical systems present a suited framework to investigate the behavior of physiological systems at different level of vertical integration. The second goal is achieved by: i) finding the correct set of parameters of complex mathematical models reproducing the dynamics of brain-heart interactions; ii) developing sampled data estimators to identify the transient pathways in the brain-heart interactions without the stationary hypothesis.

Risultati attesi (max 5 righe):

The project aims to develop new tools for modeling and quantitatively analyzing the brain-heart interplay. The expected results are the outputs of the two goals described in the previous section. In particular, a better understanding of the complex interplay between the brain and the heart. A digital twin based on a stochastic hybrid model that correlates heart-brain activity and, at least, one new estimation algorithm based on the hybrid model.

Caratteristiche di interdisciplinarietà del progetto (max 5 righe):

This project involves three different SSD: Automatic controls, Bioengineering and Mathematical physics (ING-INF/04, ING-INF/06 and MAT/07). In particular, mathematical skills are necessary for the mathematical models, automatic controls skills are necessary for the hybrid framework and to develop the estimator and filtering algorithms, and bioengineering skills are necessary for the application with the heart and brain interactions.

PUBBLICAZIONI PREVISTE (art. 13 del Regolamento Per il Sistema di Incentivazione, Sostegno, e Premialità della Ricerca dipartimentale)

5 papers are expected. In particular, two papers, related with the hybrid modelling are expected at the end of 2024, and other three papers, related to the estimation strategies and relative applications are expected at the end of 2025:

P1: pubblicazione metodologica (hybrid modelling applied to physiological systems), Nonlinear analysis, Hybrid systems - Elsevier, (Q1).

P2: pubblicazione metodologica (time-varying analysis of information dynamics in physiological networks), IEEE Transactions in Biomedical Engineering (Q1)

P3: pubblicazione metodologica (Development of a stochastic hybrid observer applied to physiological systems and comparison with Kalman filter), IEEE Transactions on Automatic Control (Q1) o Automatica – Elsevier (Q1)

P4: pubblicazione metodologica (reaction-diffusion models in pattern formation for multiple sclerosis), Internation Journal of Non-Linear Mechanics - Elsevier, (Q1).

e/o pubblicazione metodologica (immersive behavior FitzHugh-Nagumo models for long-range interactions), Journal of Non-Linear Science - Springer, (Q1).

P5: pubblicazione applicativa - reti fisiologiche (*cardiac and respiratory oscillations*), Frontiers in Neuroscience (Q1) o Frontiers in Physiology (Q2)

INDICAZIONI SUL SODDISFACIMENTO DEI CRITERI DI CUI ALL' ART. 15 DEL REGOLAMENTO PER IL SISTEMA DI INCENTIVAZIONE, SOSTEGNO E PREMIALITÀ DELLA RICERCA DIPARTIMENTALE



- a) Il gruppo di ricerca è composto da ricercatori appartenenti a tre SSD diversi del DI. Tutte le pubblicazioni previste saranno co-autorate da tutti i membri del gruppo di ricerca.
- b) I ricercatori appartenenti alle quattro istituzioni estere indicate verranno coinvolti attivamente nella ricerca e saranno co-autori nelle pubblicazioni programmate.
- c) Al gruppo di ricerca partecipano soggetti appartenenti a SSD con bassa produttività e che, dai dati discussi dal Consiglio Scientifico di Ingegneria, presentano un basso rapporto tra numero di prodotti VQR e numero di docenti.
- d) Nel gruppo di ricerca sono coinvolti ricercatori dei SSD di materie di base. Le tematiche del progetto partono dalla ricerca di base (sviluppo di concetti di fisica statistica e teoria dell'informazione) e sostengono la ricerca libera (*curiosity-oriented*) in quanto prevedono lo studio della connettività funzionale nel cervello, dei processi di regolazione fisiologica cardiorespiratoria e cardiovascolare, delle dinamiche stocastiche nei sistemi fisiologici e della modellazione matematica di sistemi biologici.
- e) L'attività da svolgere trae spunto da precedenti progetti finanziati da programmi di ricerca (PRIN 2022: High-Order Dynamical Networks in Computational Neuroscience and Physiology: an Information-Theoretic Framework, PRIN 2017: Stochastic forecasting in complex systems). Inoltre, tale attività è propedeutica alla partecipazione a nuovi partenariati e bandi dei prossimi programmi europei e nazionali, anche tramite il coinvolgimento dei partner stranieri indicati nella proposta. I temi della ricerca sono perfettamente coerenti con i settori ERC: (i) **PE7** (*Ingegneria dei sistemi e delle comunicazioni: ingegneria elettrica, elettronica, delle comunicazioni, ottica e dei sistemi*) ed in particolare: **PE7_7** *Elaborazione dei segnali*, **PE7_8** *Reti (di comunicazione, di sensori, di robot, ecc.)*, **PE7_11** *Componenti e sistemi per le applicazioni (ad esempio: in medicina, biologia, ambiente)*; (iii) **PE1** (*Matematica: tutte le aree della matematica, pura e applicata, fondamenti matematici di informatica, fisica matematica e statistica*) ed in particolare: (iii. 1) **PE1_18** *Calcolo scientifico ed elaborazione dati*; (iii.2) **PE1_14** *Statistica*, (iii.3) **PE1_20** *Applicazione della matematica nelle scienze*, (iii. 4) **PE1_21** *Applicazione della matematica nell'industria e nella società*.

FINANZIAMENTO RICHIESTO (max 3.500,00 €)

3.500,00 €

DESCRIZIONE DELLE SPESE PREVISTE

Missioni: 2000 €
Spese di pubblicazione: 1500 €

L'ammontare delle spese di pubblicazione è ritenuto congruo in considerazione della tipologia delle riviste indicate, la maggior parte delle quali non espongono costi di pubblicazione. E' previsto inoltre il cofinanziamento delle spese di pubblicazione open access tramite fondi dei componenti (internazionali) del gruppo di ricerca.

Riguardo le spese di missione, queste sono ritenute necessarie ai fini del coinvolgimento attivo (in presenza) dei partner internazionali per le attività di ricerca e la finalizzazione delle potenziali proposte di progetto.



**Università
degli Studi
di Palermo**

Dipartimento di Ingegneria
Direttore: prof. Antonino Valenza



Il sottoscritto, proponente del progetto, dichiara:

- di non avere disponibilità di fondi di ricerca per un importo superiore a 10.000 €;
- di non avere coordinato gruppi di ricerca risultati assegnatari di finanziamento nell'edizione precedente della misura.

Luogo e data: Palermo 1/11/2023

Firma F.to Antonino Sferlazza