
Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione
Corso di Laurea in Ingegneria Biomedica

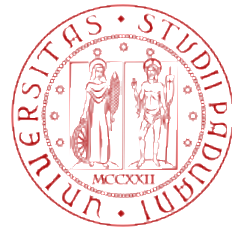
Relazione per la prova finale
***«Analisi dei correlati neurali dell'immaginazione motoria
per il controllo di un esoscheletro per il cammino»***

Relatore: Prof. Tortora Stefano

Laureanda: Peruzzi Martina
Matricola n.: 2112493

Padova, 20/07/2026

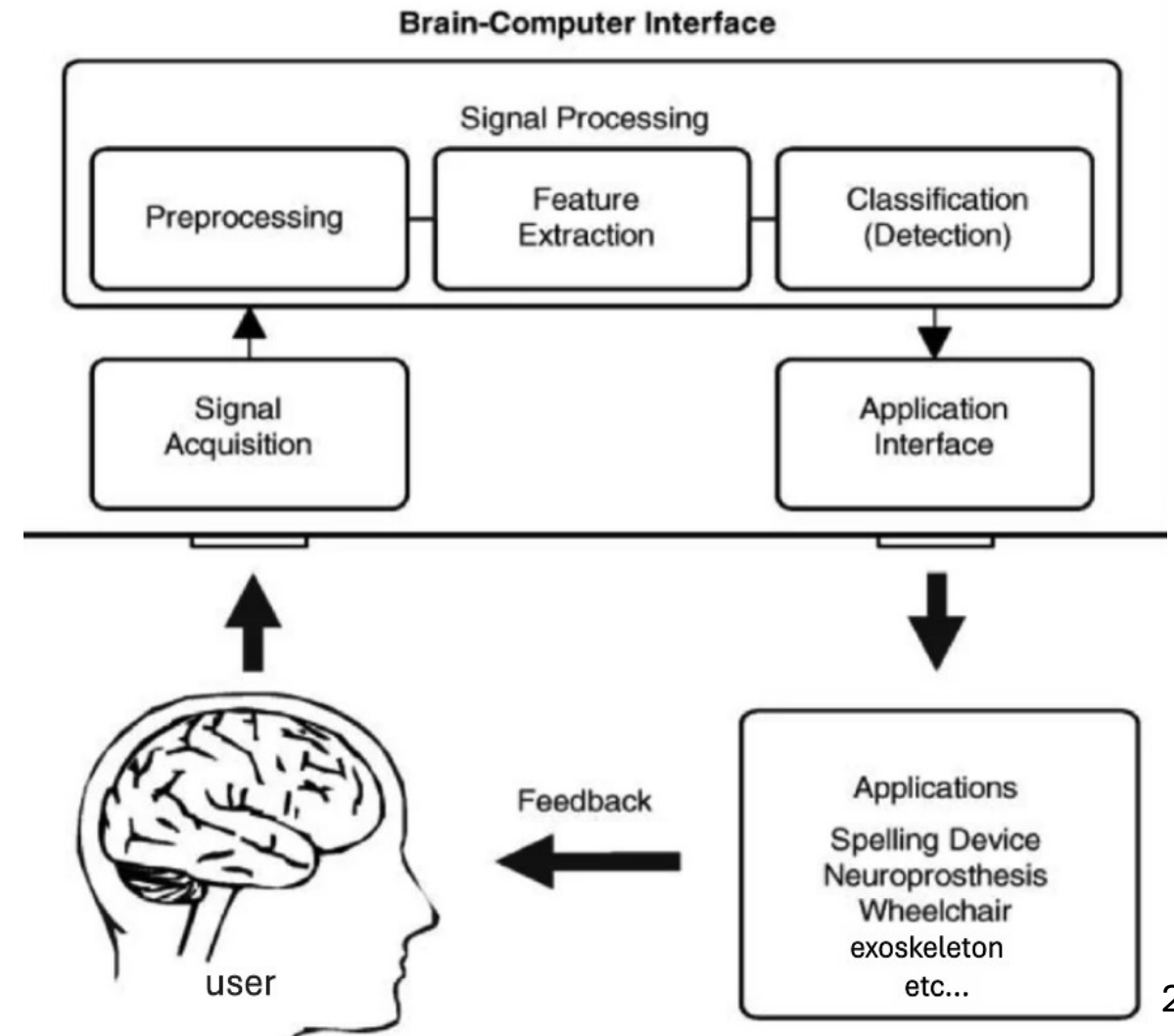
INTRODUZIONE



- **Problema clinico:** patologie neurologiche con perdita del controllo motorio degli arti inferiori (es: lesioni al midollo spinale, ictus, SLA) → Paralisi
- **Principio biologico:** perdita dell'abilità di generare il controllo motorio **MA**
si preservano le capacità di generare l'intenzione del movimento
- **Soluzione:** sistema **BCI-esoscheletro** per decodificare l'intenzione motoria dell'utente

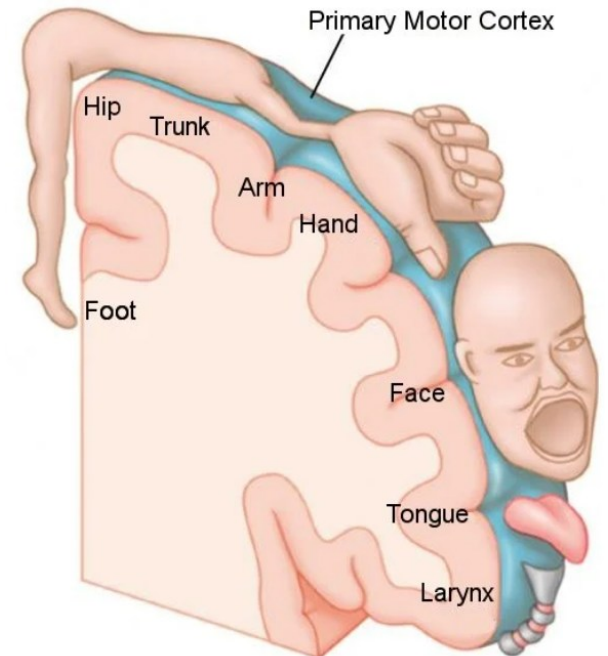
INTRODUZIONE: BRAIN-COMPUTER INTERFACE

- **BCI**: sistema Closed-Loop
- **Acquisizione** del segnale:
 - Invasive
 - Non-invasive: Elettroencefalografia (EEG)
- Paradigmi di **stimolazione**:
 - ☐ Esogeni
 - ☐ Endogeni:
 - Immaginazione Motoria
 - modulazione ritmi sensomotori (bande μ [8-13] Hz e β [13-30] Hz)
 - ERD/S



OBIETTIVI DEL LAVORO

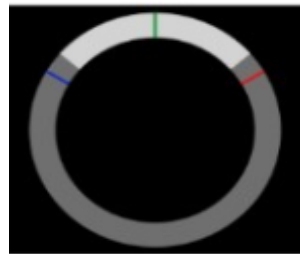
- Limiti della letteratura: BCI per esoscheletri meno sviluppate
- Sviluppare una Pipeline di elaborazione dei dati EEG offline per analizzare i correlati neurali dell'immaginazione motoria degli arti inferiori
- Implementare un sistema di controllo per attivare un esoscheletro
- Esplorare la possibilità di separare l'attività della gamba sinistra dall'attività della gamba destra



DESCRIZIONE DEL LAVORO: MATERIALI E METODI

- cuffia ANT- Neuro a 64 canali con amplificatore eego64
- 5 soggetti sani (4 di un database pre-esistente)

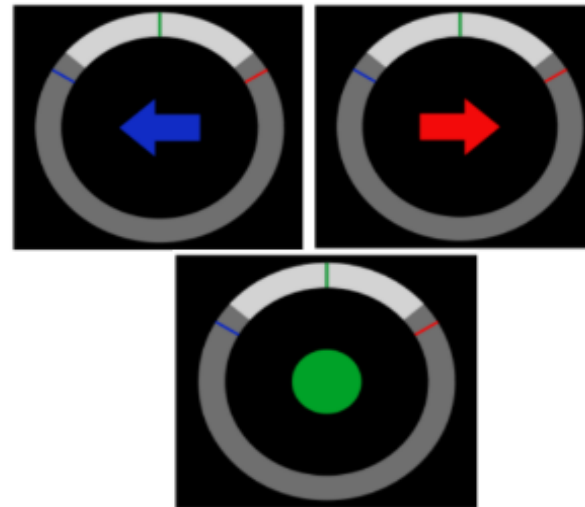
Acquisizione del segnale
(Calibration)



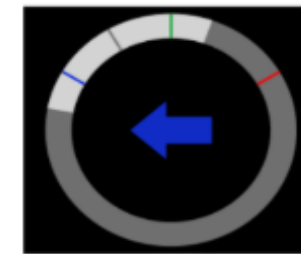
Start



Fixation



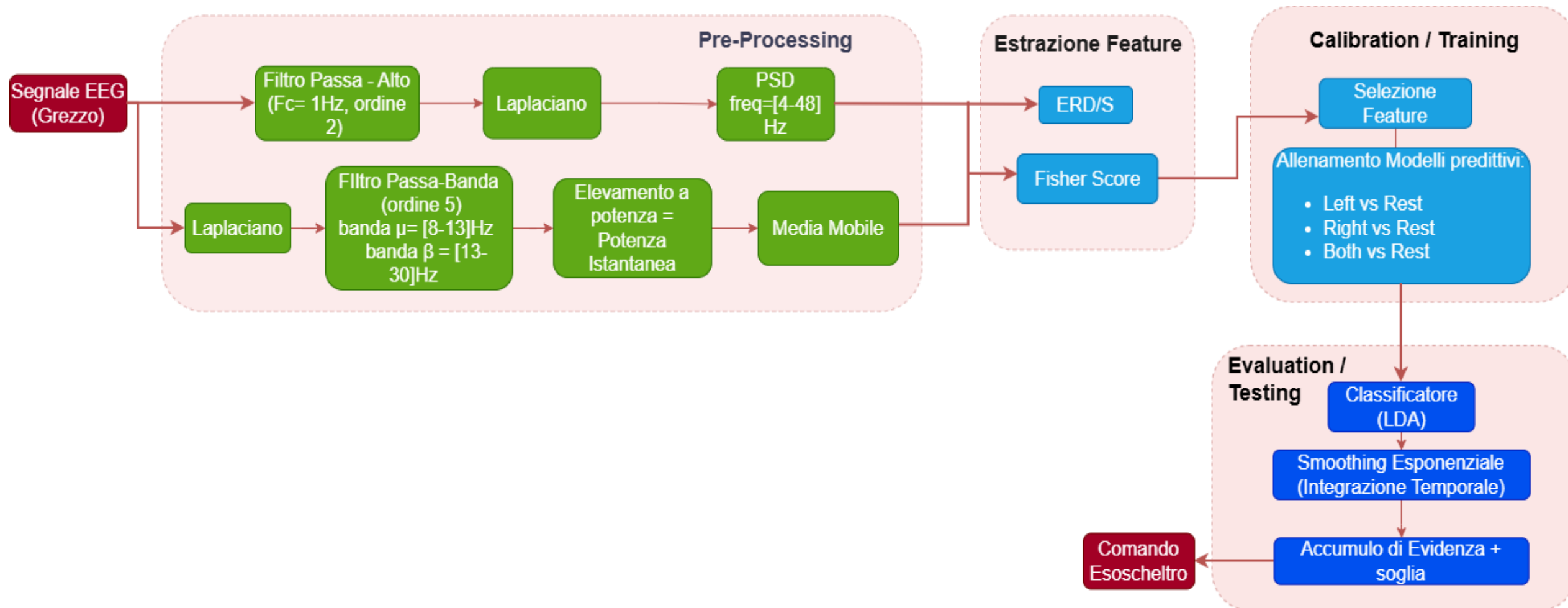
Cue
(Left, Right step, Rest)



Continuos
Feedback

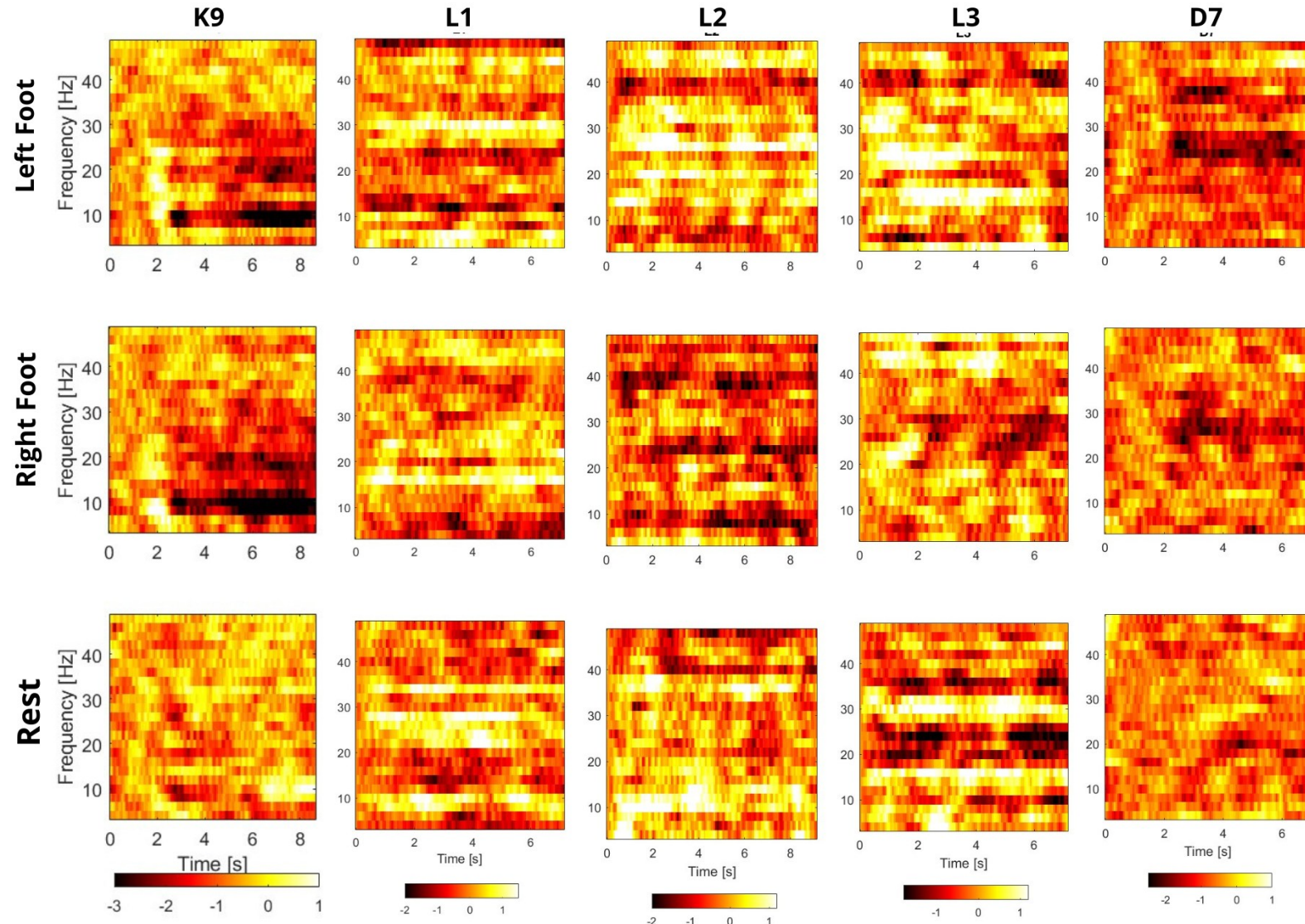


DESCRIZIONE DEL LAVORO: PIPELINE DI ELABORAZIONE DEL SEGNALE



DESCRIZIONE DEL LAVORO:

RISULTATI - Spettrogramma del canale Cz



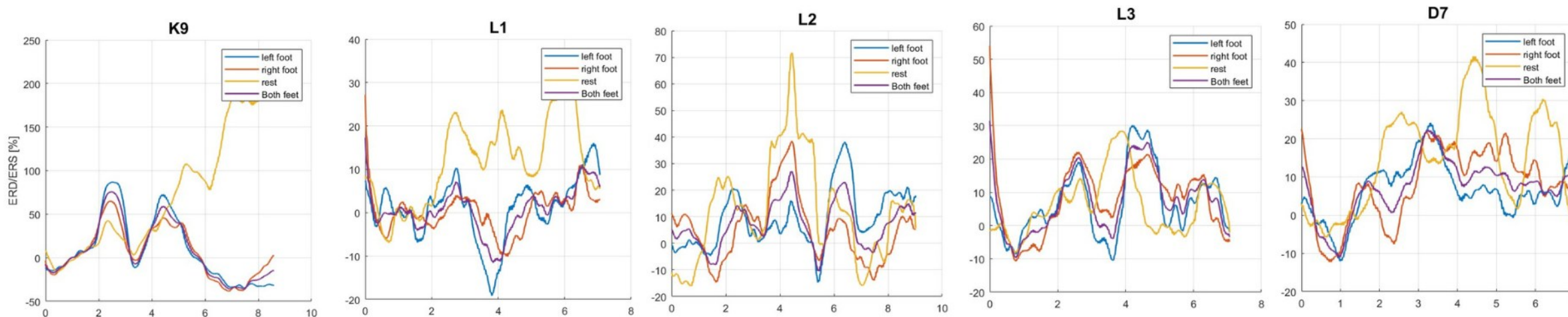
$$ERD/S(t) = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{Activity(t)}{Reference} \right)$$

DESCRIZIONE DEL LAVORO:

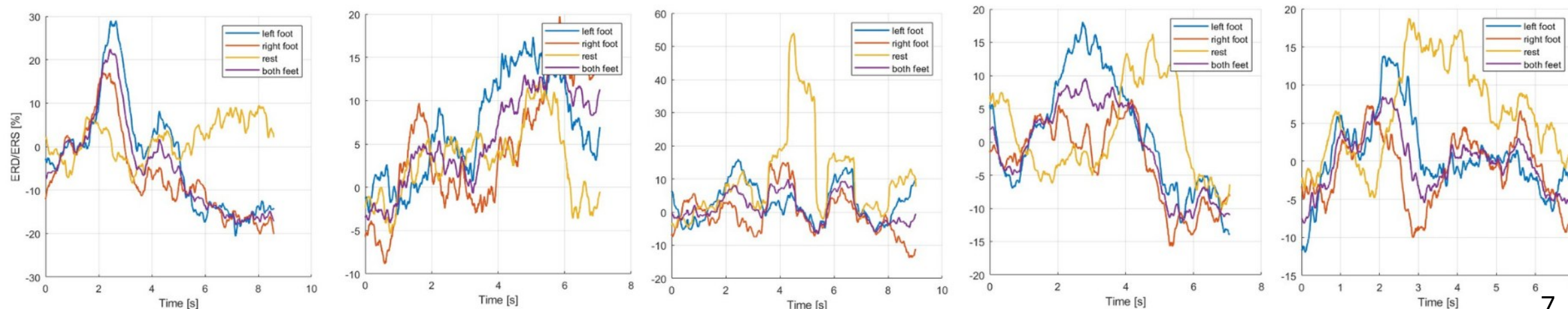
RISULTATI - Analisi temporale dell' ERD/S del canale Cz



ERD/S banda μ

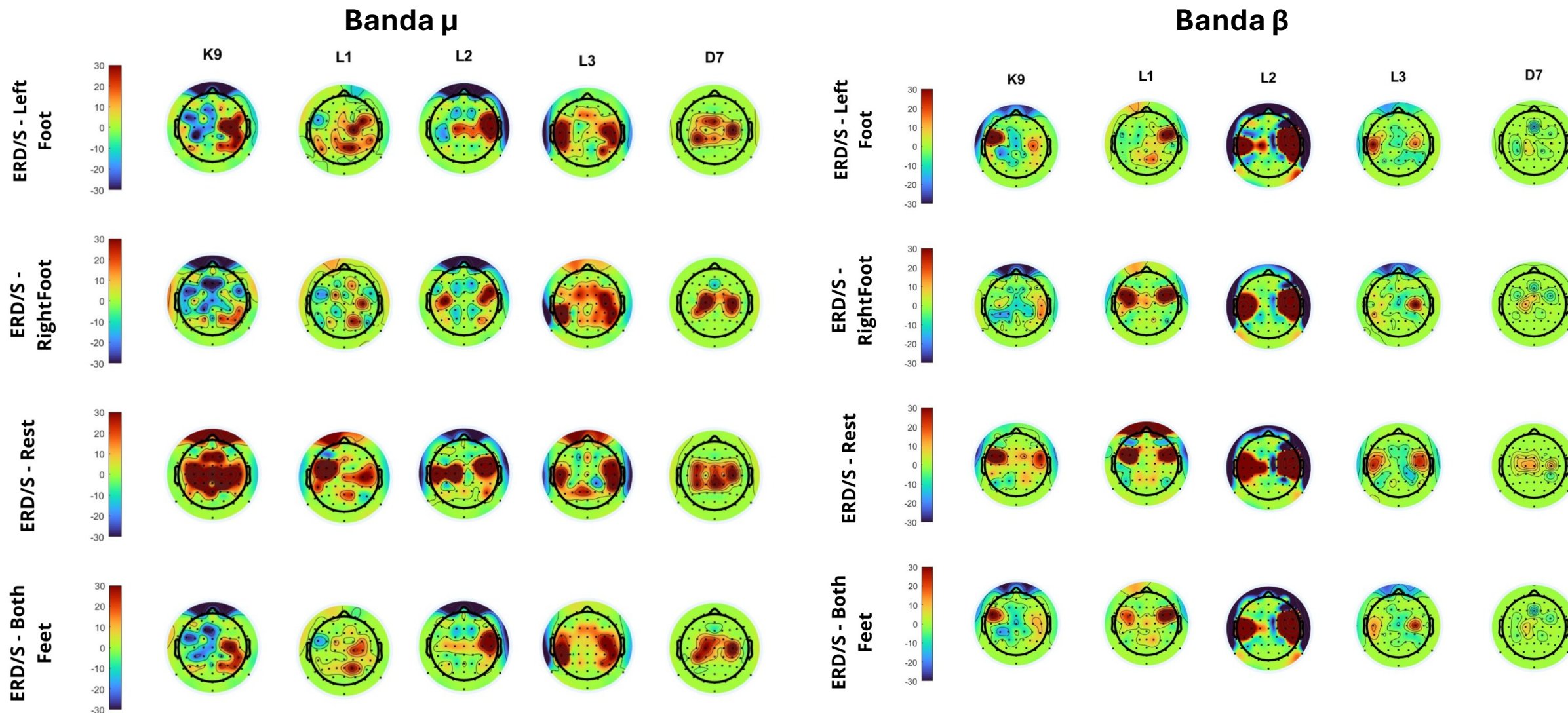


ERD/S banda β



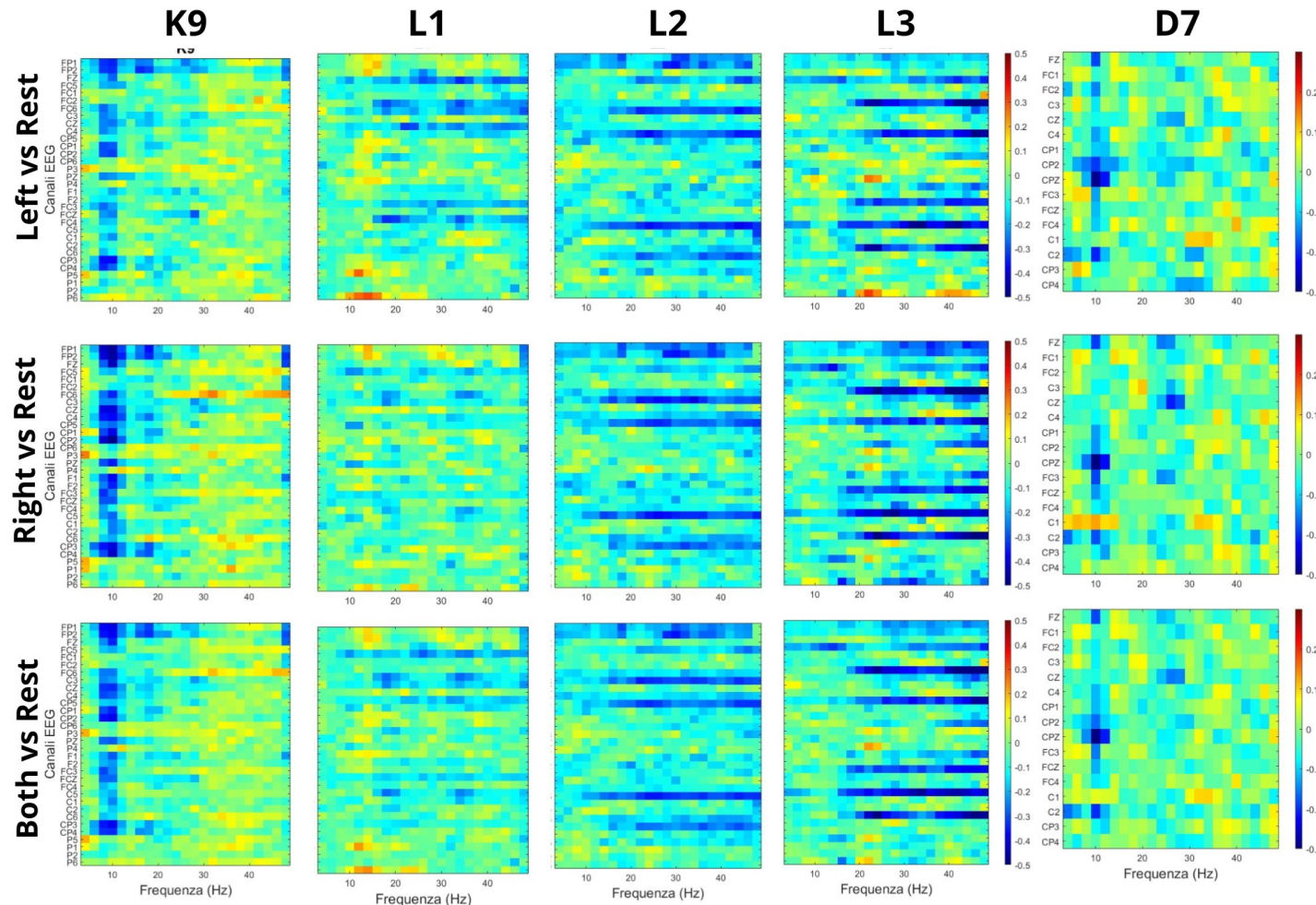
DESCRIZIONE DEL LAVORO:

RISULTATI - Visualizzazione Spaziale ERD/S



DESCRIZIONE DEL LAVORO: RISULTATI - Fisher Score Direzionato

Fisher Score globali per i tre modelli allenati



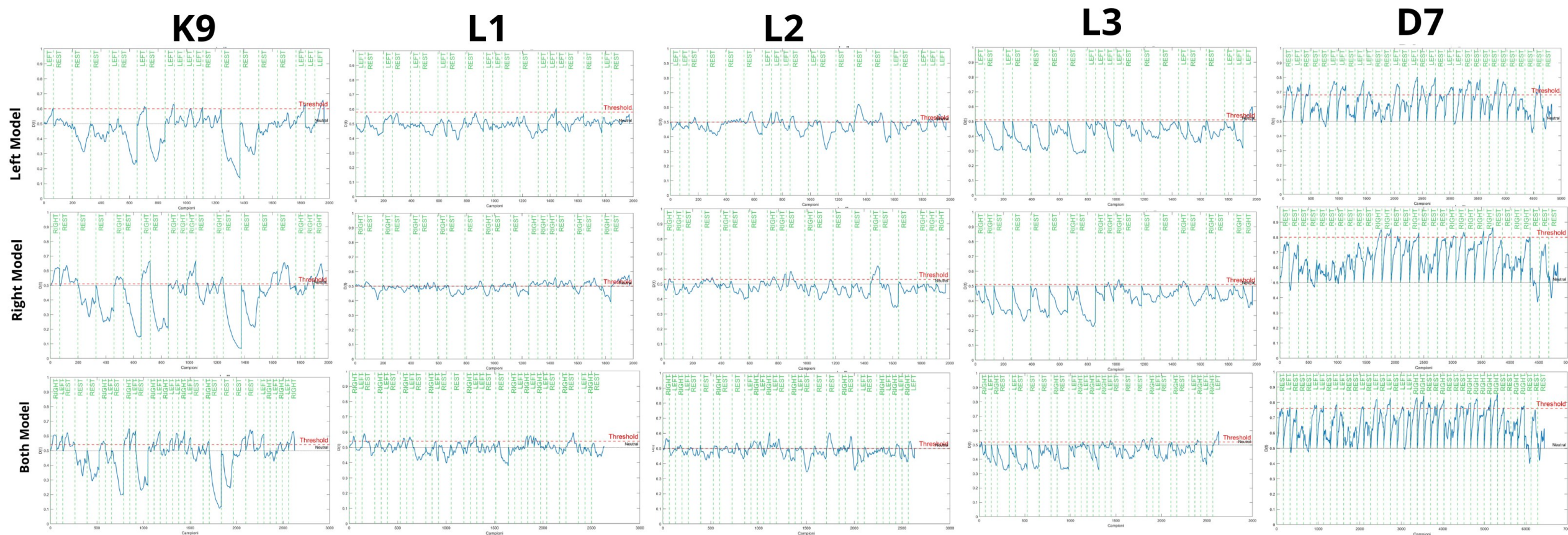
$$FS(x) = \frac{\mu_{mi} - \mu_r}{\sigma_{mi} + \sigma_r} \quad \begin{cases} FS > 0 & se \mu_{mi} > \mu_r \\ FS < 0 & se \mu_{mi} < \mu_r \end{cases}$$

Selezione Feature

Fase di Training dei Modelli:

- Left Foot vs Rest
- Right Foot vs Rest
- Both Feet vs Rest

DESCRIZIONE DEL LAVORO: Smoothing Esponenziale [D(t)] e Accumulo di Evidenza



$$D(t) = \alpha \cdot D(t - 1) + (1 - \alpha) \cdot pp_{\text{task}}(t)$$

$\begin{cases} \text{Movimento} & \text{se } D(t) > \text{thr} \\ \text{Rest} & \text{se } D(t) < \text{thr} \end{cases}$

DESCRIZIONE DEL LAVORO: Prestazione dei Modelli

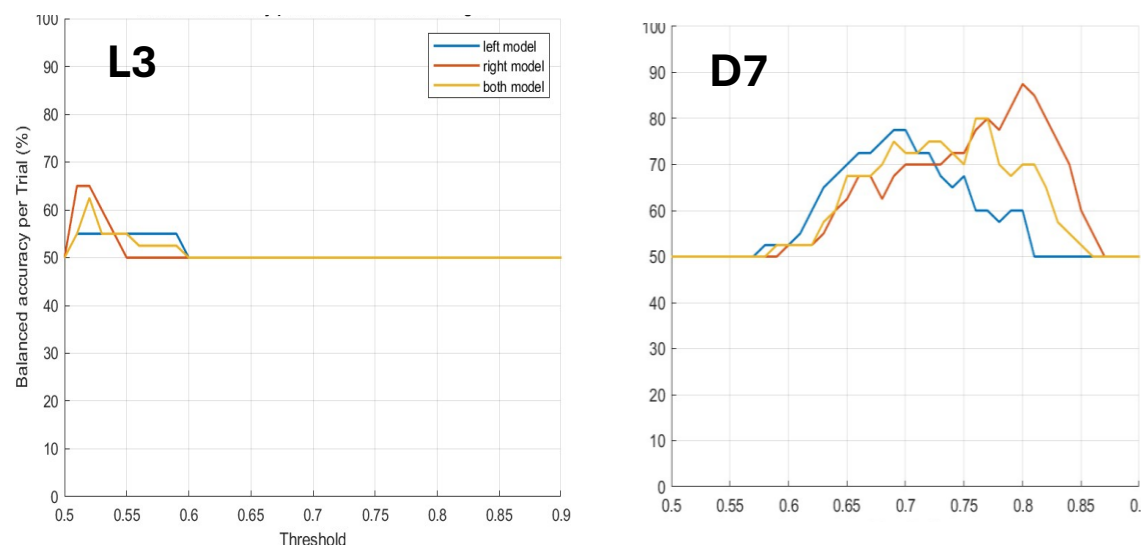
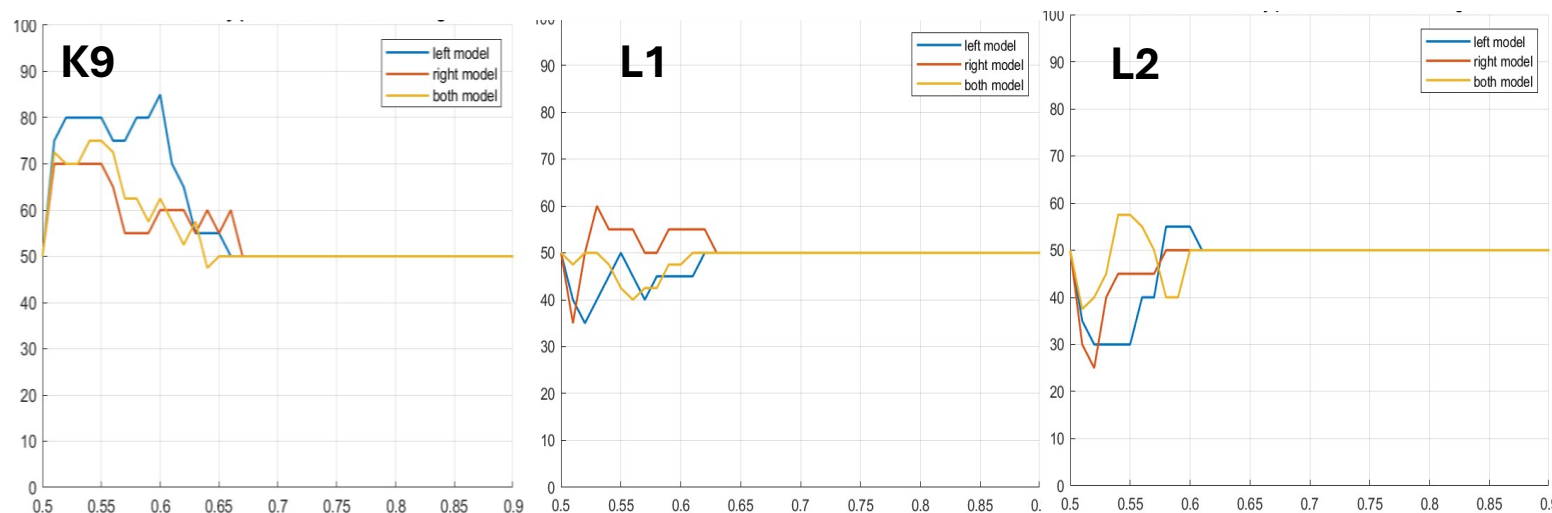
$$\text{Single Sample Accuracy} = \frac{N_{\text{corretti}}}{N_{\text{tot}}}$$

$$\text{Specificità} = \frac{TN}{TN + FP}$$

$$\text{Sensibilità} = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$\text{Trial-Based Balanced Accuracy} = \frac{\text{Specificità} + \text{Sensibilità}}{2}$$

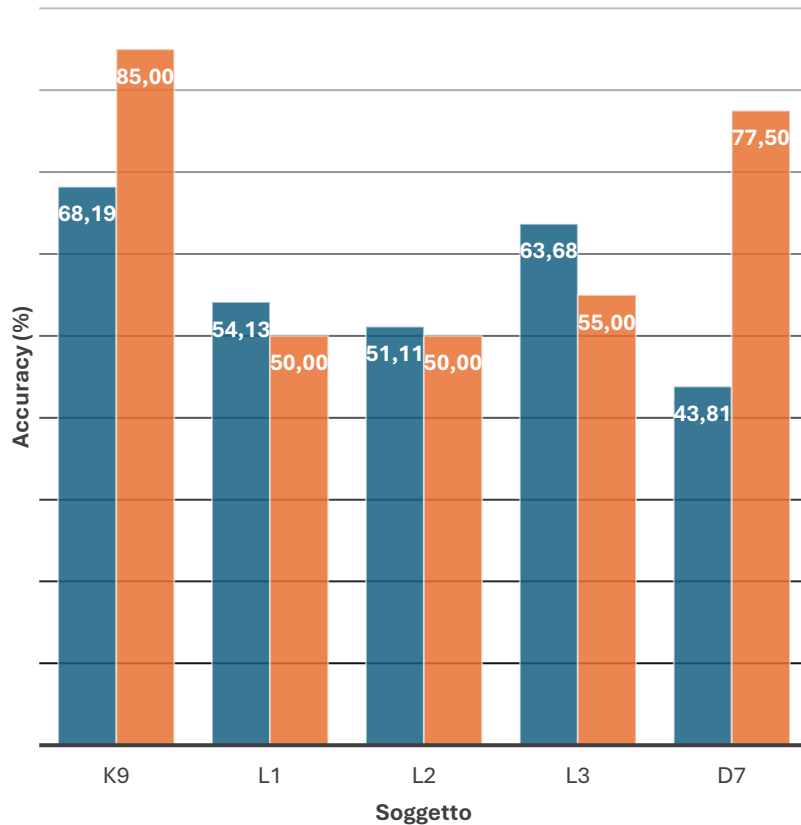
Soggetto	Soglia ottimale
K9	0.60
	0.51
	0.54
L1	0.50
	0.53
	0.50
L2	0.58
	0.50
	0.54
L3	0.51
	0.51
	0.52
D7	0.68
	0.80
	0.76



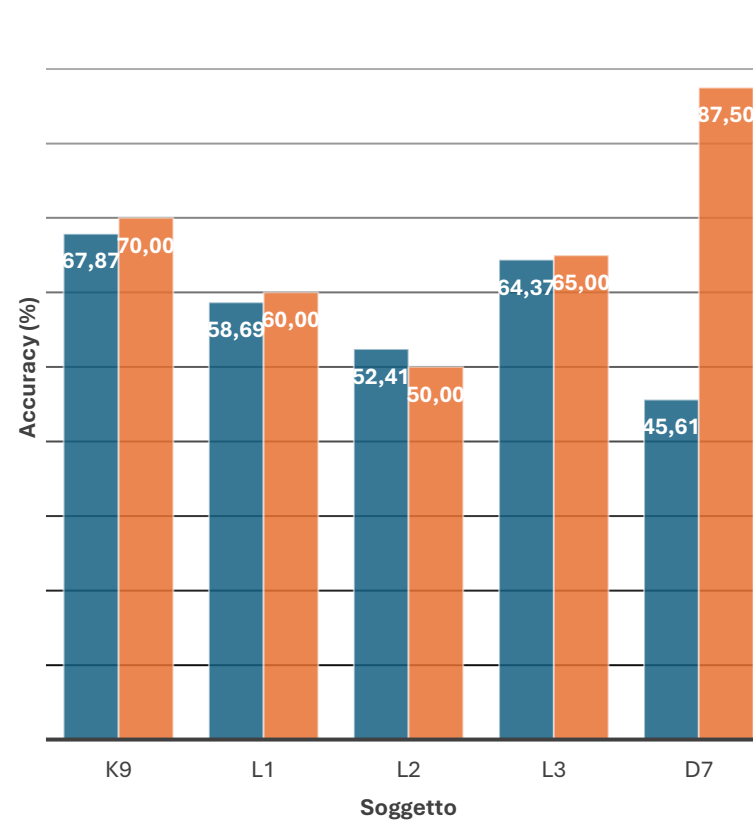
DESCRIZIONE DEL LAVORO: Confronto Accuratezze

■ Single-Sample Accuracy
(%)
■ Trial-Based Balanced
Accuracy (%)

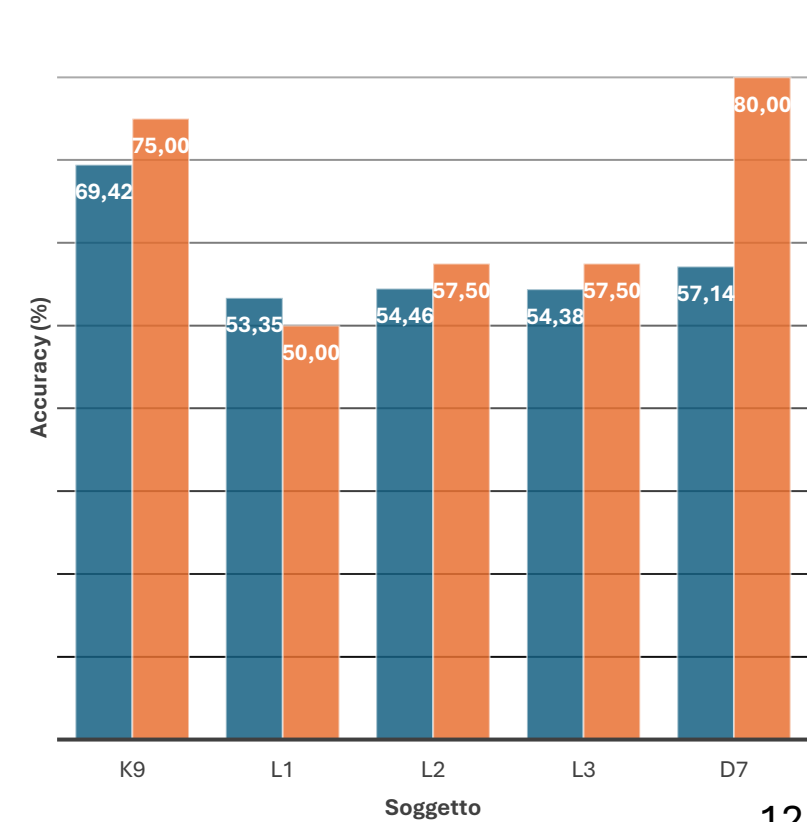
Left Foot vs Rest



Right Foot vs Rest



Both Feet vs Rest



CONCLUSIONI

- Efficacia della Pipeline sviluppata per l'analisi dell' EEG
- Validazione Neurofisiologica dell'assenza di lateralizzazione spettrale per singolo arto inferiore (modello di classificazione generalizzato)
- Miglioramento delle prestazioni dei modelli tramite integrazione temporale
- Personalizzazione della soglia decisionale
- Differenza tra soggetti esperti e naive

SVILUPPI FUTURI

- Trasferire la pipeline all'interno di sessioni sperimentali Online
- Addestramento a lungo termine dei soggetti
- Algoritmi di classificazione non lineare tramite Deep Learning (Reti CNN)

GRAZIE PER LA VOSTRA
ATTENZIONE !