DIPARTIMENTO
DI INGEGNERIA
DELL'INFORMAZIONE

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

Corso di Laurea in Ingegneria Biomedica

Relazione per la prova finale «L'elettroencefalografo (EEG): Analisi della struttura interna ed applicazioni»

Laureanda: Elisa Baldo
Matricola n.: 2114675

Relatore: Prof. Gaudenzio Meneghesso

Padova, 20/07/2026

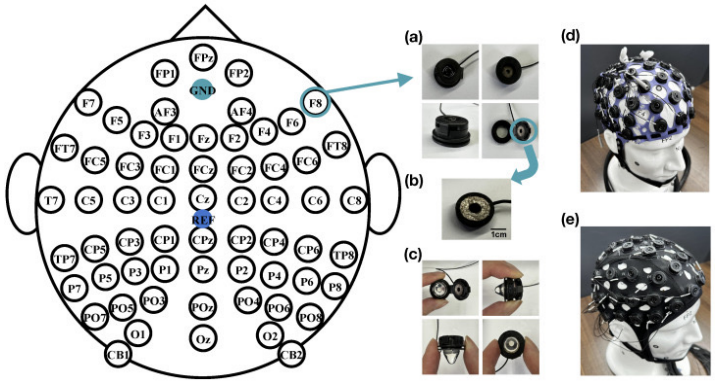
Obiettivo

L'obiettivo centrale di questo elaborato è analizzare nel dettaglio il funzionamento dell'elettroencefalografo.

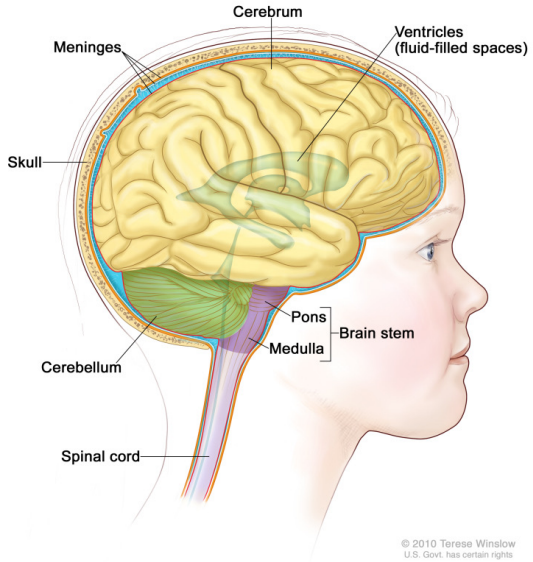
Partendo dall'origine biologica del segnale, vengono approfondite le sfide ingegneristiche legate all'acquisizione di segnali elettrici estremamente deboli, le metodologie matematiche per l'analisi nel dominio del tempo e della frequenza e, infine, vengono valutate le più recenti innovazioni tecnologiche, con particolare attenzione alle interfacce cervello-computer (BCI) e all'integrazione con algoritmi di apprendimento automatico.

Introduzione all'EEG

L'attività cerebrale è caratterizzata da segnali elettrici complessi, che riflettono Il funzionamento delle reti neuronali.



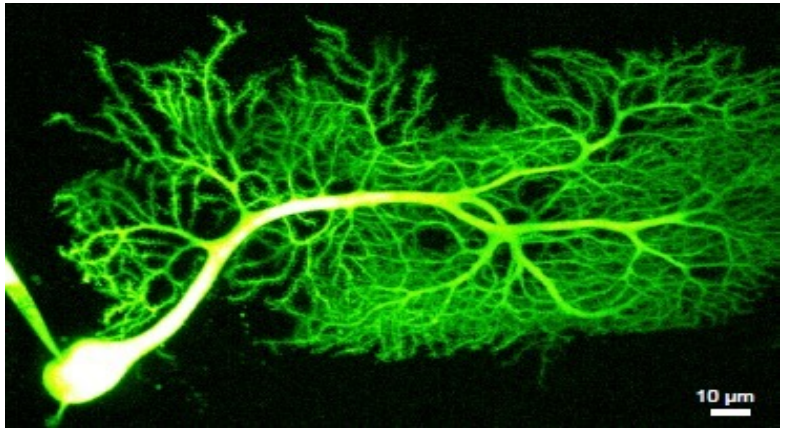
L'elettroencefalografia (EEG) rappresenta una delle principali tecniche non invasive per la registrazione di questi segnali, permettendo di monitorare l'attività del cervello in tempo reale.



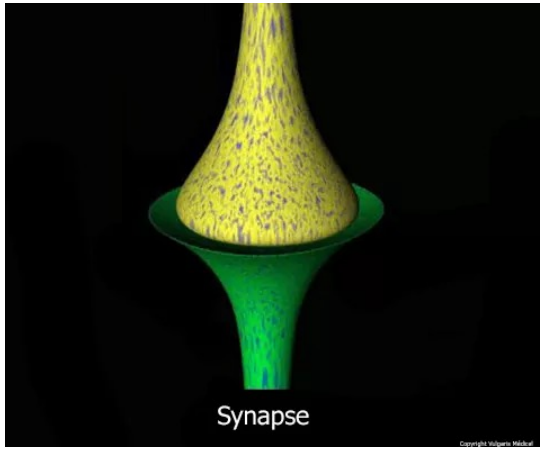
Grazie alla sua risoluzione temporale, l'EEG è ampiamente utilizzato sia in ambito clinico, ad esempio nella diagnosi di patologie neurologiche, sia in ambito di ricerca, per lo studio dei processi cognitivi.

Origine del segnale

Il segnale EEG non è generato dai singoli neuroni, ma dalla sommazione dei potenziali postsinaptici di milioni di neuroni piramidali corticali che si attivano in modo sincronizzato.



Le correnti prodotte devono attraversare diverse barriere naturali, tra cui il tessuto cerebrale, il cranio e il cuoio capelluto, prima di essere rilevate dagli elettrodi di superficie.

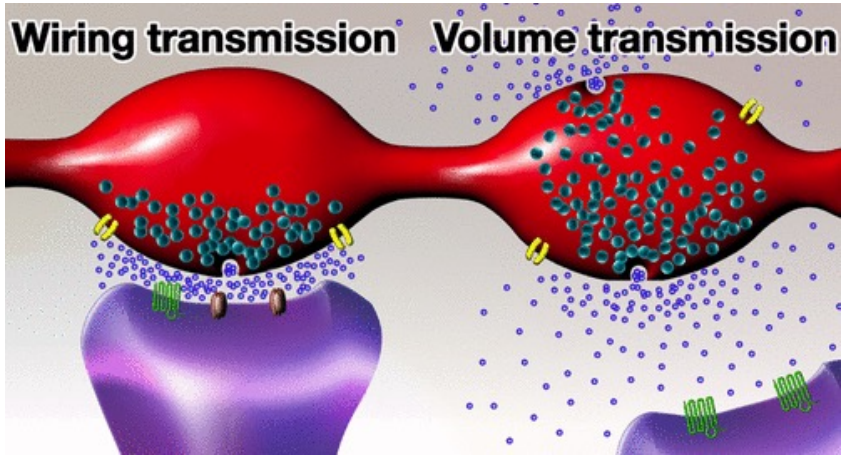


Conduzione del segnale

Il segnale neuronale si propaga tramite **wiring trasmission (WT**), sinaptica e specifica, e **volume trasmissione (VT),** diffusa nello spazio extracellulare.

Wiring Trasmission (WT)

- Trasmissione sinaptica diretta
- Segnale rapido e specifico
- Avviene tra neuroni connessi
- Richiede strutture dedicate (sinpasi)
- Esempio: glutammato, GABA



Volume Transmission (VT)

- Trasmissione diffusa nello spazio extracellulare
- Segnale più lento e modulatore
- Raggiunge cellule anche distanti
- Non richiede connessioni dirette
- Esempio: dopamina, serotonina

SEGNALE EEG (bassa ampiezza, rumore elevato) → **FRONT-END DI ACQUISZIONE**

↓

Aumento del guadagno

↓

Aumento Power Supply Rejection Ratio (PSRR)

↓

Soppressione disturbi : Common Mode Rejection Ratio **CMRR**

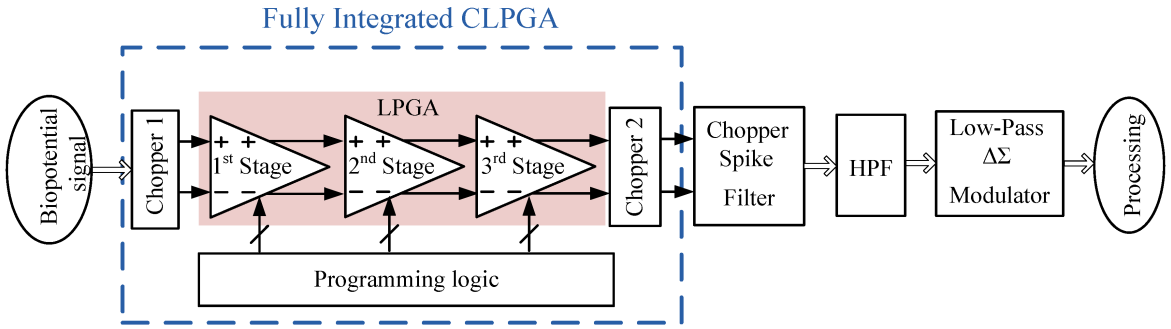
↓

Tecniche:

- Driven Right Leg (RDL)
- Common-Mode Feedback (CMFB)
- Architetture multistadio (LPGA)

↓

Sopprime interferenze
Su entrambi gli ingressi



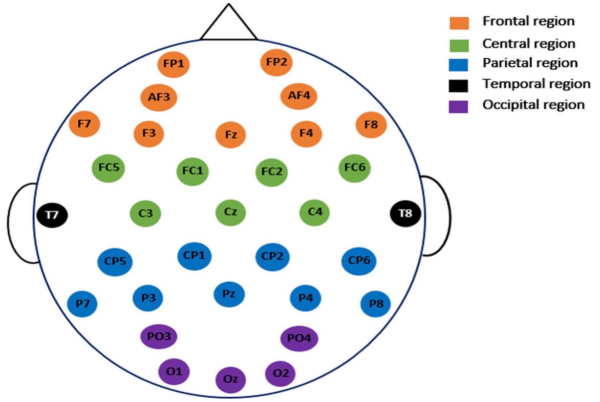
USCITA DEL SISTEMA : **Rail-to-Rail** →

- Massimo SNR
- Uscita tra VDD e GND

Catena di acquisizione

Acquisizione del segnale → Elettrodi EEG →

- Non invasivi: Ag/AgCl, micro-aghi, finger-like
- Invasivi: alta risoluzione ma rischio chirurgico



↓

Pre-processing → Rimozione rumore e artefatti

↓

Conversione e digitalizzazione (ADC)

↳

- Rileva segnali in μV
- Frequenza di campionamento ≥ 2 $banda$ $(Nyquist)$
- Presenza di filtri anti-aliasing

↓

Elaborazione e controllo

↳

- Hardware: FPGA, DSP, CPU
- Algoritmi: filtraggio, analisi spettrale, CNN
- Sistema a feedback: controllo dispositivi

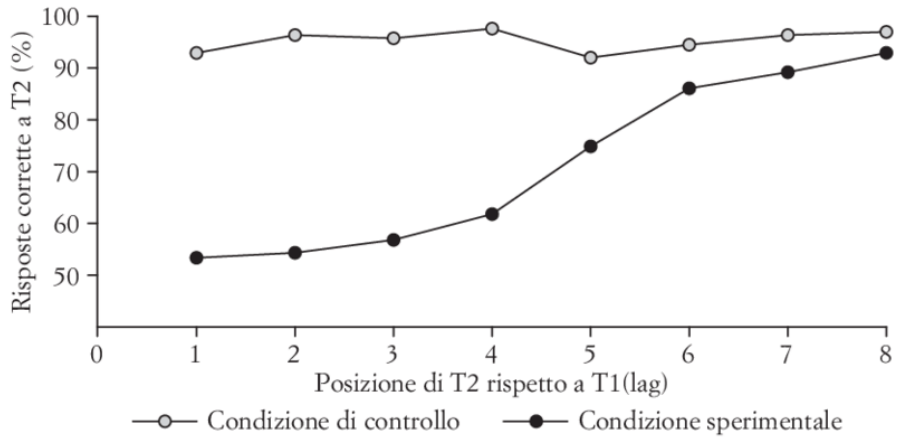
Analisi nel dominio del tempo

L'analisi nel dominio del tempo permette di osservare come il segnale varia nel tempo e consente di
studiare parametri come ampiezza, durata, latenza e morfologia delle onde.

↓

Event Related Potentials (ERP):
risposte cerebrali time-locked a uno stimolo

Attentional Blink:
deficit temporaneo nell'elaborazione di un secondo stimolo target

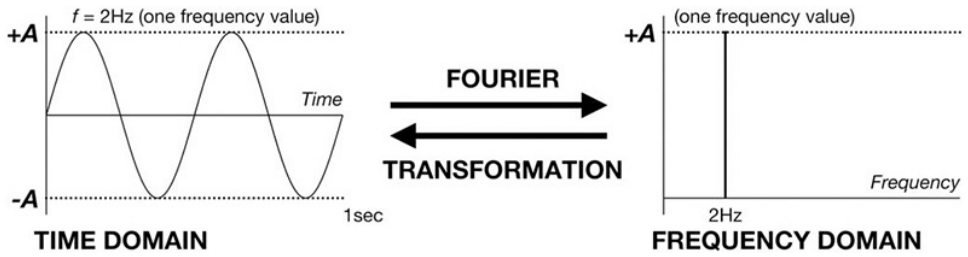


Analisi nel dominio della frequenza

Descrivere il contenuto spettrale → X(f) → **Trasformata di Fourier**: scomposizione del segnale in sinusoidi

↓

- Ampiezza
- Fase



PSD (Power Spectral Density): distribuzione della potenza → Misura energia per banda EEG

↓

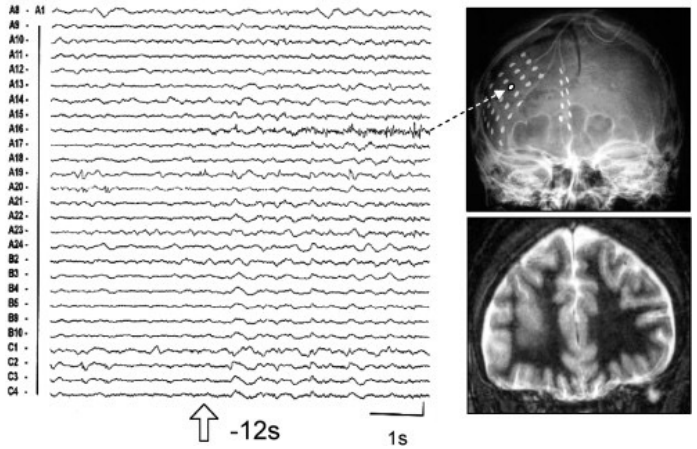
Metodi:
- Welch
- Multipaper

↓

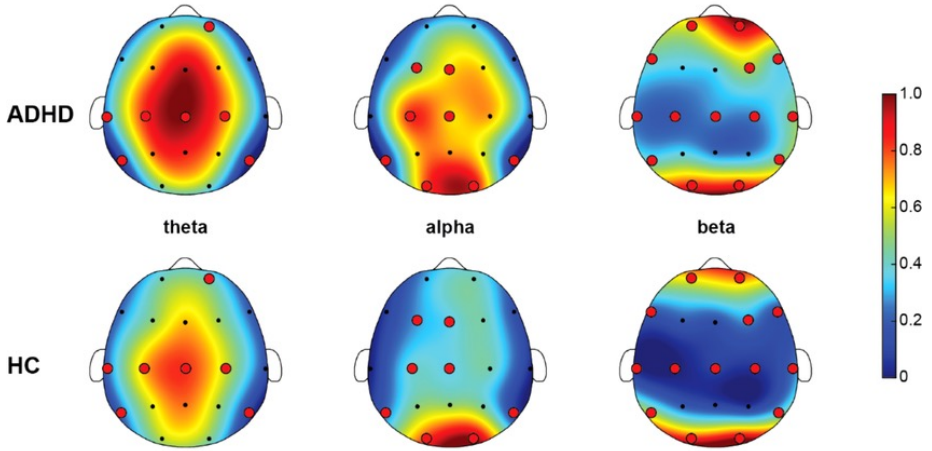
Bande EEG principali:
- Delta(0.5-4 Hz): sonno profondo
- Theta (4-7 Hz): memoria
- Alpha (7-13 Hz): rilassamento
- Beta (13-30 Hz): attenzione

Casi applicativi

Epilessia : Attività neuronale anomala → Crisi epilettiche (focali o generalizzate): EEG è uno strumento chiave per la conferma diagnostica e la localizzazione epilettogena.



Disturbo da Insonnia (ID): iperattivazione corticale



Depressione: EEG permette di identificare alterazioni pattern neurali e potenziali biomarcatori

Disturbo da Deficit di Attenzione e Iperattività (ADHD): disturbo del neurosviluppo

CONCLUSIONI

L'elettroencefalografia (EEG) rappresenta oggi uno degli strumenti più consolidati e versatili per lo studio dell'attività cerebrale, con un ruolo centrale nella diagnosi e nel monitoraggio di patologie neurologiche.

Dal punto di vista dell'ingegneria biomedica rappresenta un ambito di particolare interesse per l'integrazione tra acquisizione del segnale, tecniche avanzate di analisi e metodologie innovative come machine learning e intelligenza artificiale.

Le prospettive future vedono l'ingegnere biomedico come figura chiave nello sviluppo di biomarcatori EEG più specifici, attraverso la progettazione di sistemi di acquisizione ad alta densità, l'implementazione di algoritmi avanzati di analisi del segnale e l'integrazione multimodale con tecniche di neuroimaging.