

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione
Corso di Laurea in Ingegneria Biomedica

Relazione per la prova finale

Analisi delle tecnologie di elettrodi per l'acquisizione del segnale EEG

Relatore: Prof. Gaudenzio Meneghesso

Laureanda: Fiorini Angela
Matricola n.: 2035063

ANNO ACCADEMICO 2025/2026



Sommario

- EEG: tecnica non invasiva.
- Focus: catena di acquisizione (elettrodi).
- Confronto tecnologie elettrodi.



Introduzione

- EEG: diagnosi e monitoraggio.
- Elettrodo = anello critico.
- Segnale debole, facile disturbo.

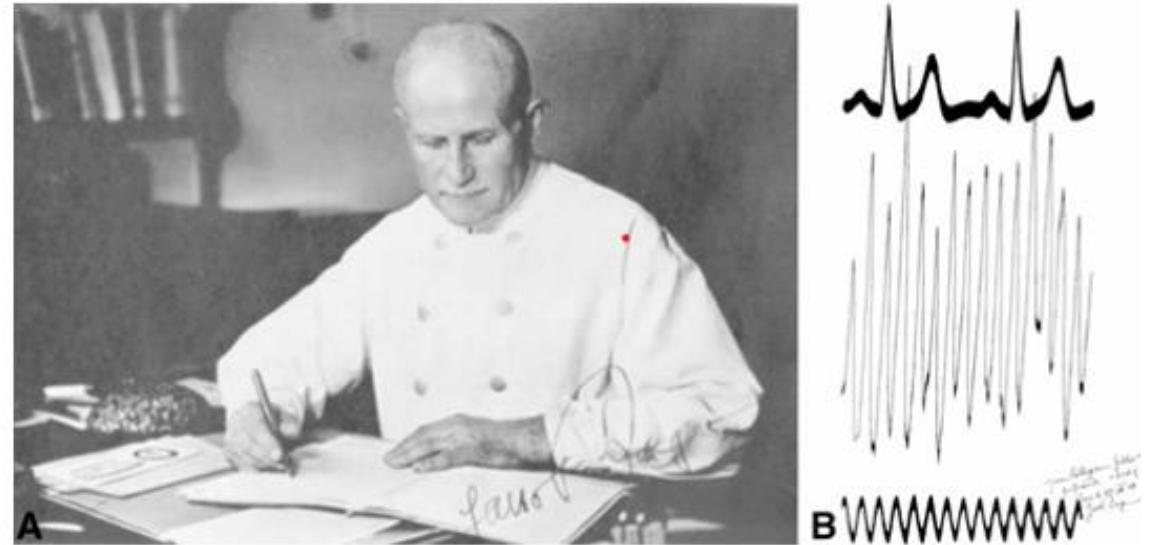
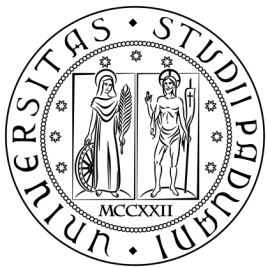


Figura 1: **A**, Hans Berger.; **B**, Tracciato EEG



Segnale EEG

- Origine: attività sinaptica.
- Bassa frequenza (0.5–40 Hz).
- 5 bande: δ , θ , α , β , γ .

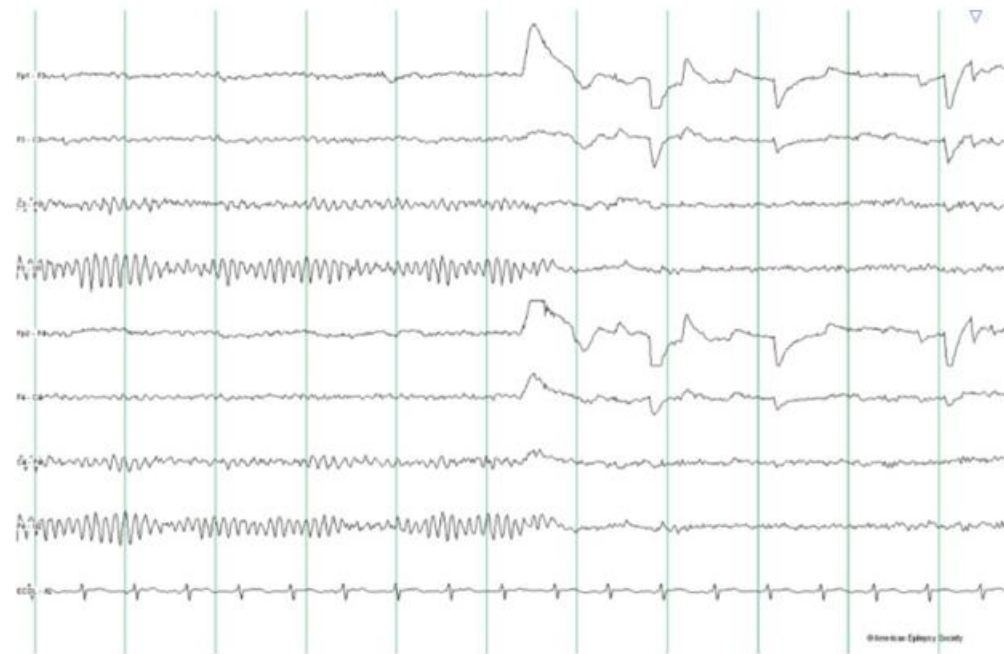
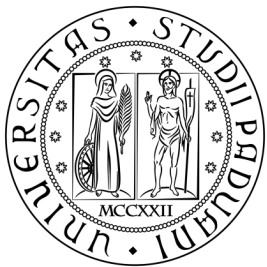


Figura 2: Ritmo alfa dominante posteriore



Catena di acquisizione

- Elettrodi → amplificazione
→ digitalizzazione.
- Elettrodi: primo passaggio critico.

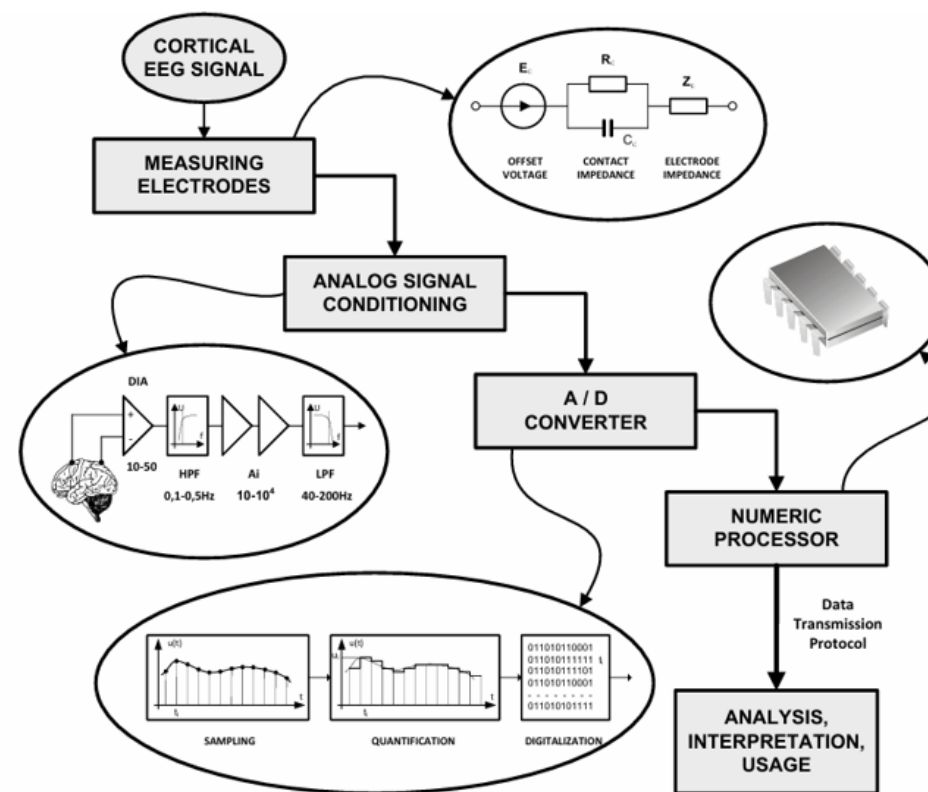
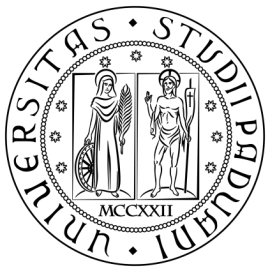


Figura 3: Struttura della catena di acquisizione del segnale EEG, dagli elettrodi all'elaborazione numerica



Rumore ed impedenza

- Rumore: termico, rete, fisiologico.
- Impedenza elettrodo-pelle: ostacolo principale.

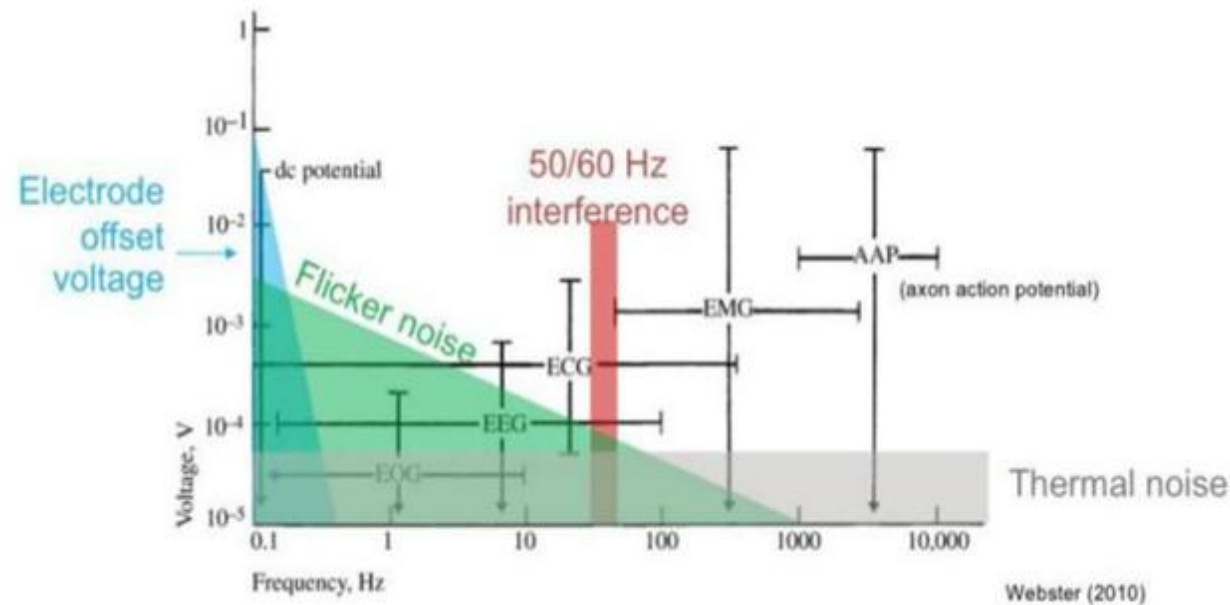


Figura 4: Densità spettrale di diverse tipologie di interferenza



Elettrodi invasivi

- Penetranti vs. non penetranti.
- Alta risoluzione, alto rischio.
- Materiali: oro, lega platino-iridio.

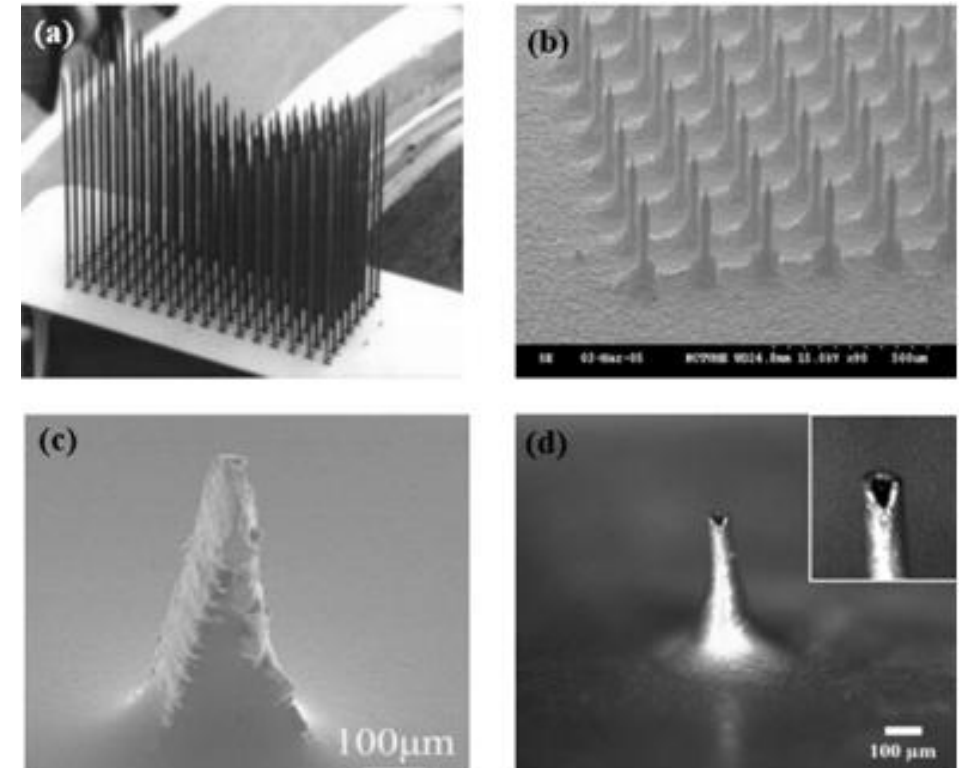
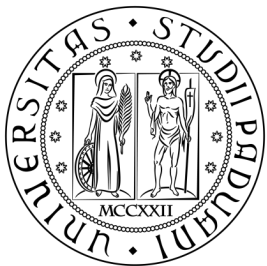


Figura 5: Elettrodi MEMS tipici ed elettrodi capacitivi



Elettrodi umidi vs. secchi

- Umidi (Ag/AgCl): gold standard.
- Secchi: rapidi, meno comfort.

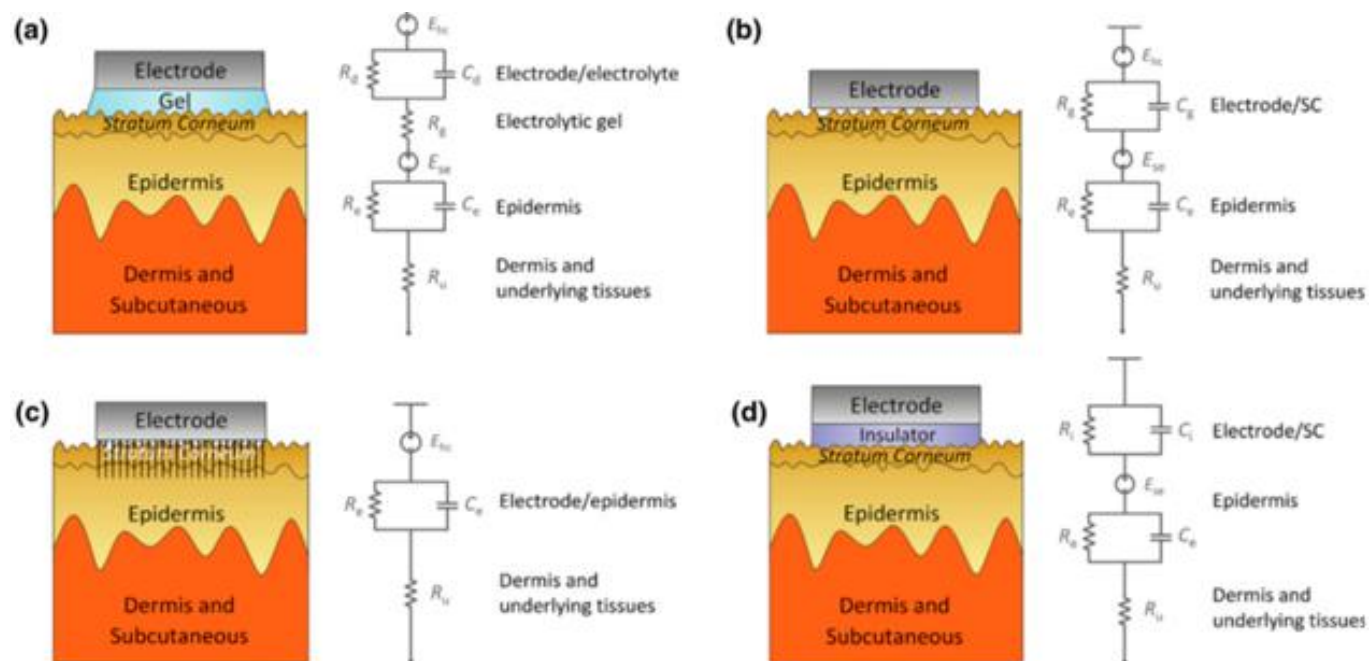
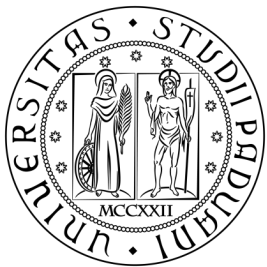
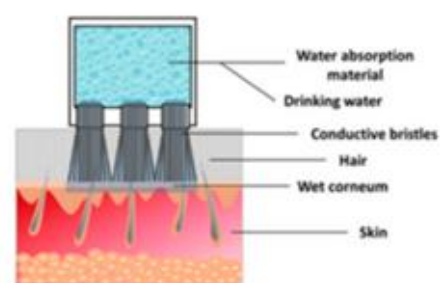


Figura 6: Modelli circuitali equivalenti dell'interfaccia elettrodo-pelle per diverse tipologie di elettrodo EEG.

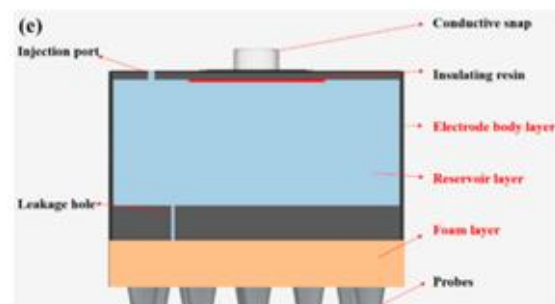


Elettrodi semi-secchi e non a contatto

- Semi-secchi: compromesso ideale.
- Non a contatto: zero preparazione, più artefatti.



(a) Elettrodi semi-secchi con riserva elettrolitica.



(b) Elettrodi semi-secchi a base di spugna.

Figura 7: Elettrodi semi-secchi

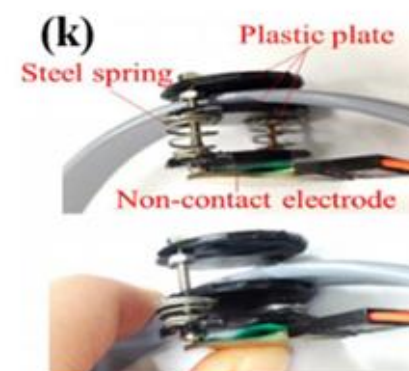
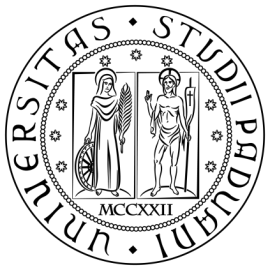


Figura 8: Elettrodi non a contatto



Confronto prestazionale

- Impedenza, correlazione, tempi.
- Nessuna soluzione perfetta.

TABLE 1. Warburg capacitance ($\mu\text{F}/\text{cm}^2$) of metals in contact with 0.9% saline.

Metal type		Reference
Platinum black heavy (PtB) (estimated)	$149,700f^{-0.366}$	38
Platinum-iridium black (PtIrB)	$8619f^{-0.299}$	30
Platinum black medium (PtB)	$4950f^{-0.366}$	38
Platinum-iridium (PtIr)	$2696f^{-0.79}$	30
Copper (Cu)	$705f^{-0.518}$	29
Rhodium (Rh)	$112f^{-0.210}$	29
Silver (Ag)	$103f^{-0.259}$	29
Stainless steel (SS)	$161f^{-0.525}$	13
Platinum (Pt)	$21.6f^{-0.143}$	29
Stainless steel (SS)	$17.2f^{-0.266}$	29
MP35N (Ni Co Cr Mo)	$8.4f^{-0.127}$	29
Palladium (Pd)	$7.3f^{-0.113}$	29
Aluminum (Al)	$2.94f^{-0.126}$	29

Figura 9: Capacità di Warburg per elementi a contatto con soluzione salina al 0,9%



Considerazioni finali

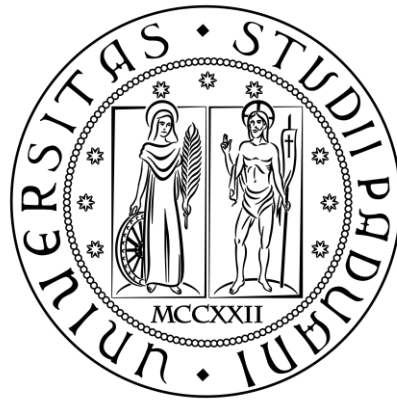
- Ogni scelta è un compromesso.
- Elettrodi umidi:
 - gestione impedenza ↑
 - tempistiche preparazione e gestione gel ↓
- Elettrodi secchi:
 - tempistiche preparazione ↑
 - gestione impedenza e comfort ↓
- Elettrodi semi-secchi: miglior compromesso tra impedenza e rapidità.
- Elettrodi impiantabili:
 - qualità segnale ↑
 - rischio infettivo costi elevati ↓



Conclusioni

- Ricerca sbilanciata sulla qualità del segnale;
- biocompatibilità reale e rumore elettrochimico trascurati;
- protocolli standardizzati e studi su campioni più ampi;
- trend futuro: materiali flessibili, integrazione multifunzionale, wearable;
- Obiettivo finale: conciliare qualità del segnale, comfort e portabilità.

Grazie per l'attenzione.



UNIVERSITA'
DEGLI STUDI
DI PADOVA