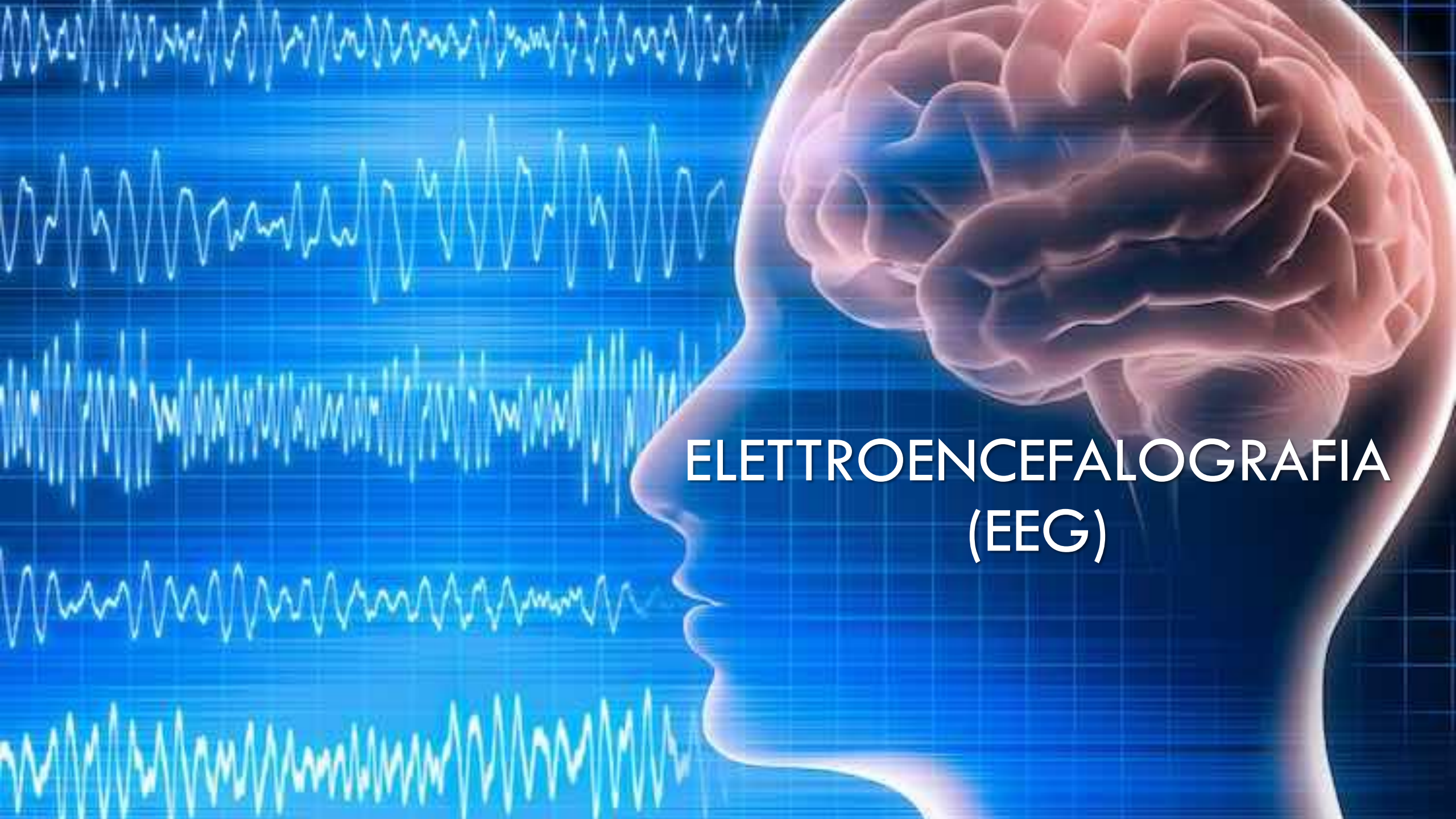
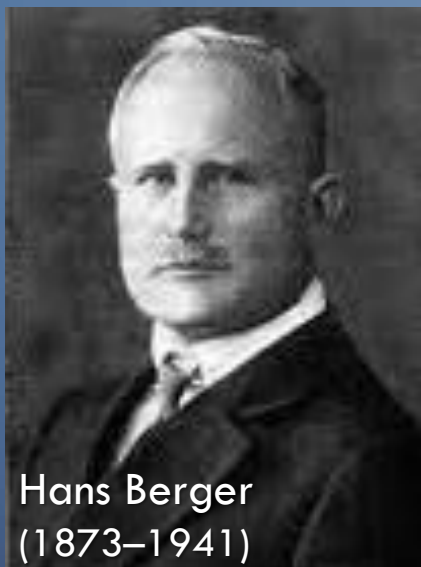




ELETTROENCEFALOGRAFIA (EEG)

ELETTROENCEFALOGRAFIA

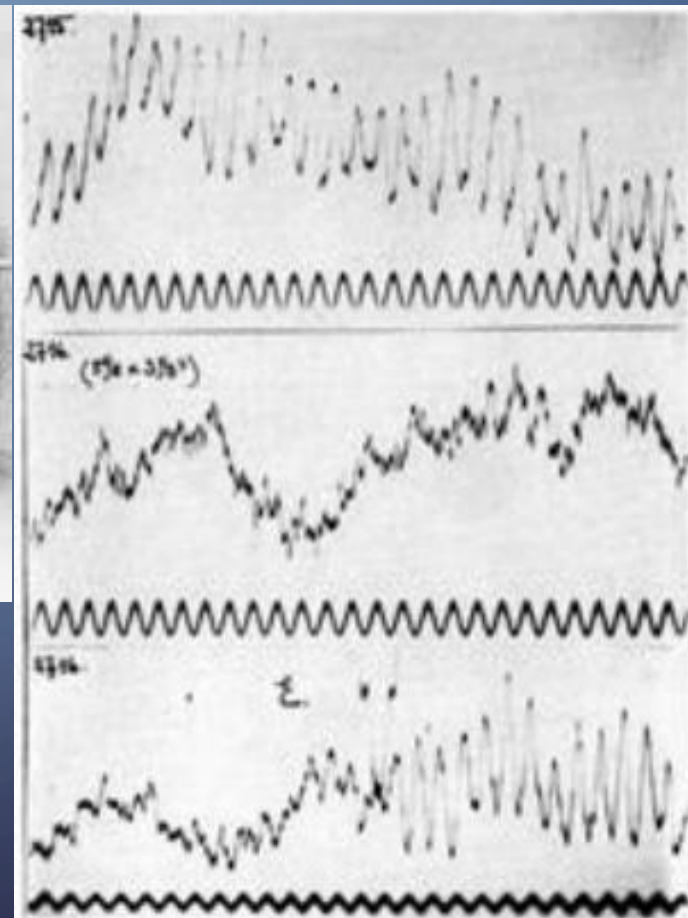
“Scrivere l’attività elettrica del cervello”



Hans Berger
(1873–1941)



Elettroencefalografo

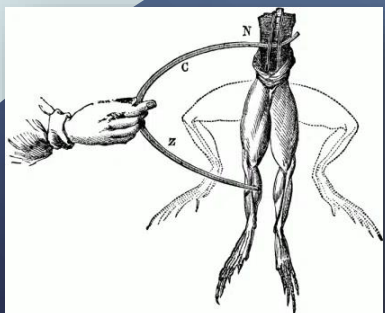


Elettroencefalogramma di Ilse,
figlia di Berger

ELETTROENCEFALOGRAFIA

“Scrivere l'attività elettrica del cervello”

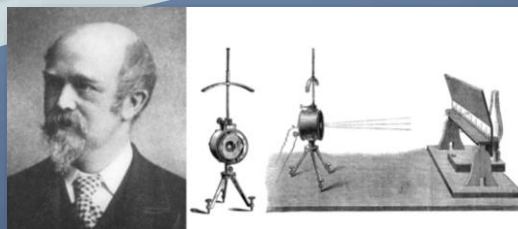
1801 Giovanni Aldini tratta i pazienti depressi con corrente continua



1790 Dibattito Galvani e Volta
Elettricità intrinseca o estrinseca?



1890 Adolf Beck
compie studi sui
processi elettrici
cerebrali



1875 Richard Caton osserva
fenomeni elettrici sul cervello
animale



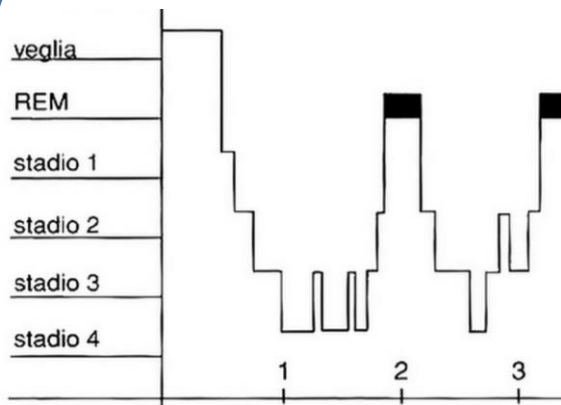
1924 Hans Berger
esegue il primo EEG
sull'uomo

ELETTROENCEFALOGRAFIA

“Scrivere l'attività elettrica del cervello”

SONNO REM

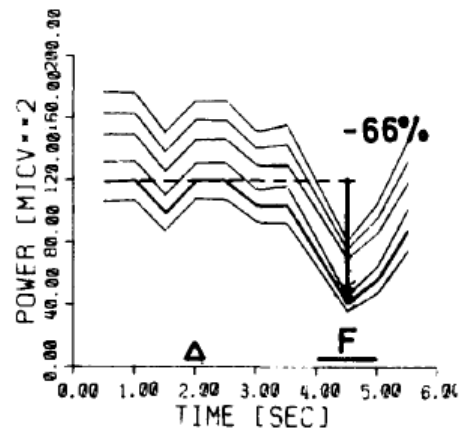
(Aserinsky & Kleitman 1953)



NEUROLOGIA CLINICA

ALPHA ERD

(Pfurtscheller & Aranibar 1977)

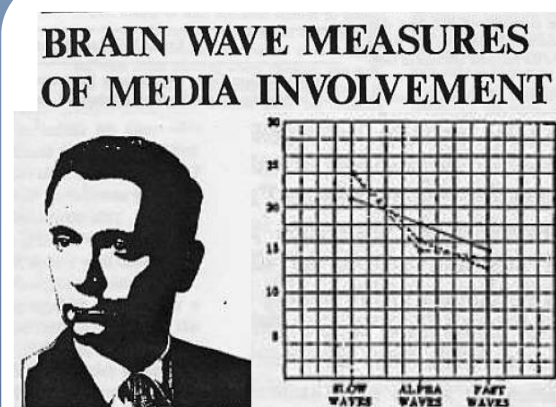


RICERCA SUI PROCESSI
COGNITIVI

1° STUDIO EEG

NEUROMARKETING

(Herbert E. Krugman 1971)



NEUROMARKETING

1° IMPIANTO BCI

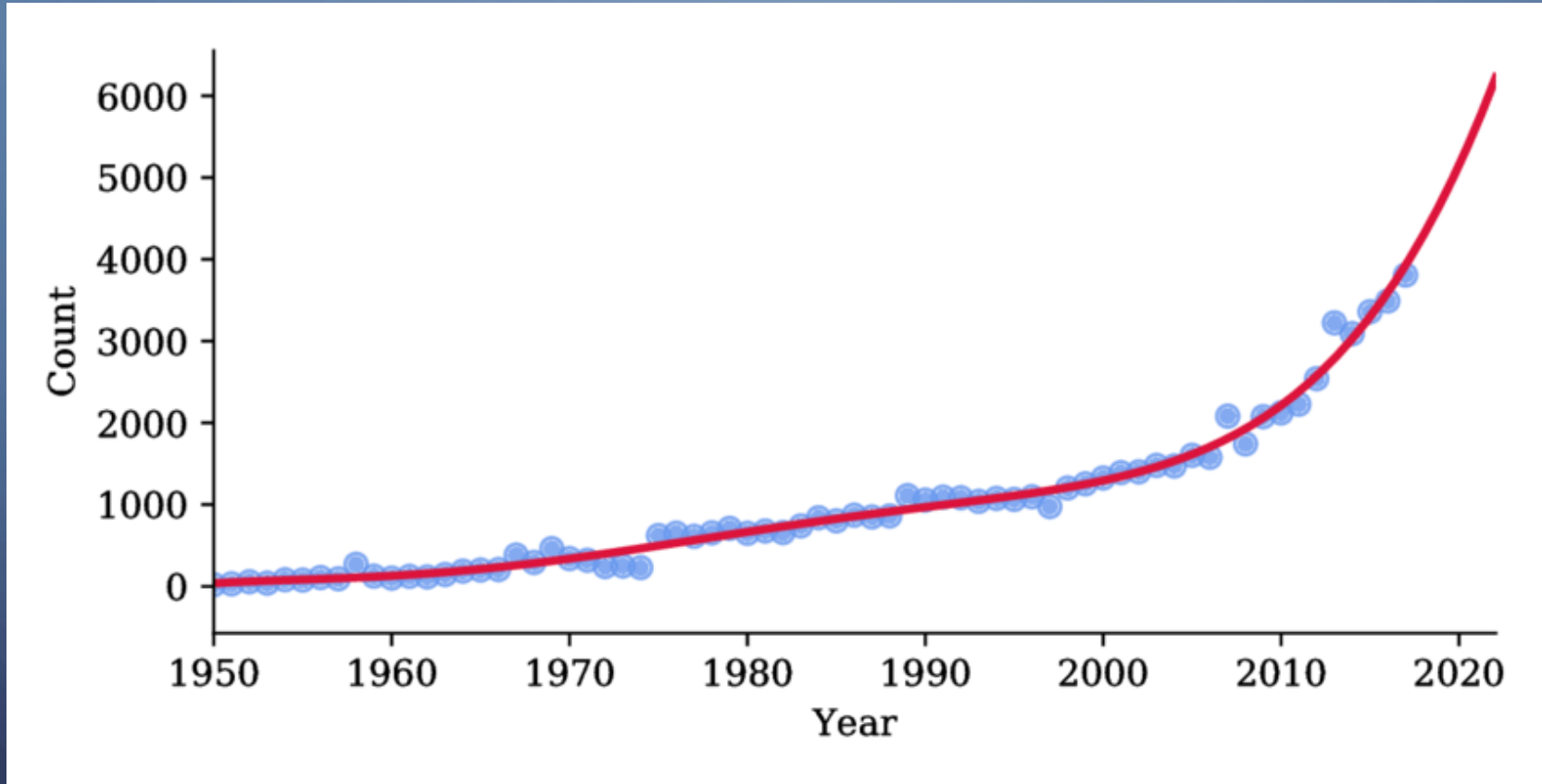
(Philip Kennedy 1998)



BRAIN-COMPUTER
INTERFACES

ELETTROENCEFALOGRAFIA

“Scrivere l'attività elettrica del cervello”

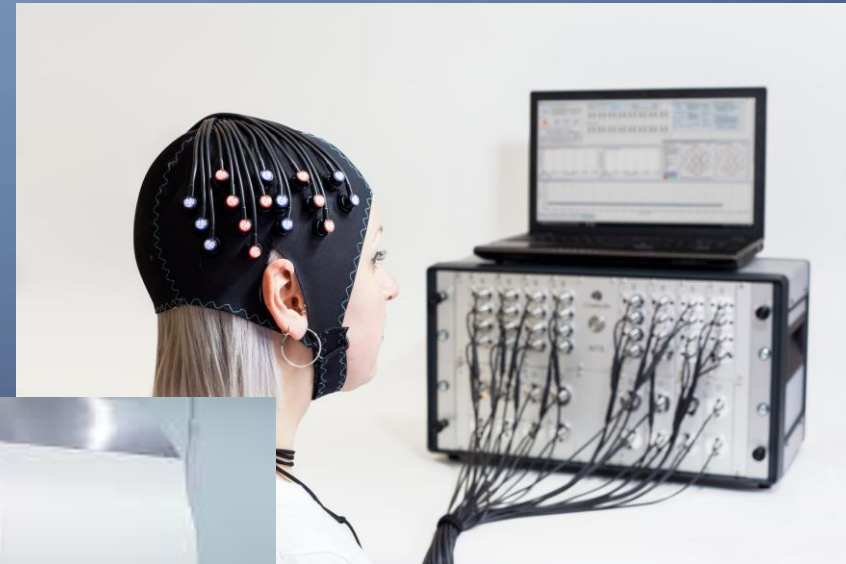


Numero di pubblicazioni dal 1950 con EEG nel titolo o nell'abstract ottenuto da PubMed
(PERNET ET AL., 2019)

TECNICHE DI REGISTRAZIONE ATTIVITÀ CEREBRALE

Neuroimaging Funzionale:

→ PET, fMRI, fNIRS e SPECT misurano i cambiamenti nel flusso ematico locale, legato all'aumento di attività cellulare e quindi neuronale.



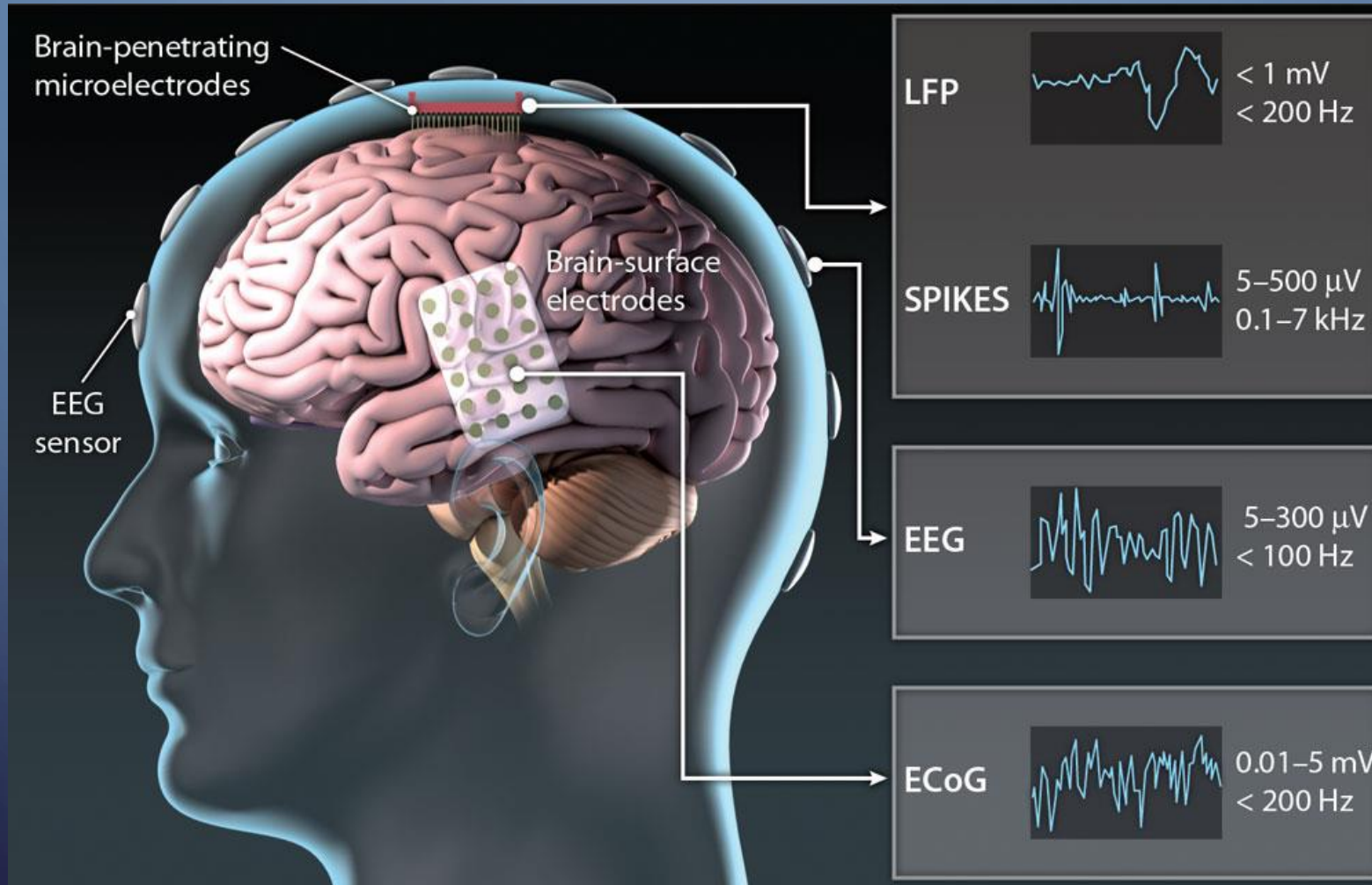
TECNICHE DI REGISTRAZIONE ATTIVITÀ CEREBRALE

→ EEG e MEG registrano l'attività neuronale diretta sotto forma di radiazione elettromagnetica.

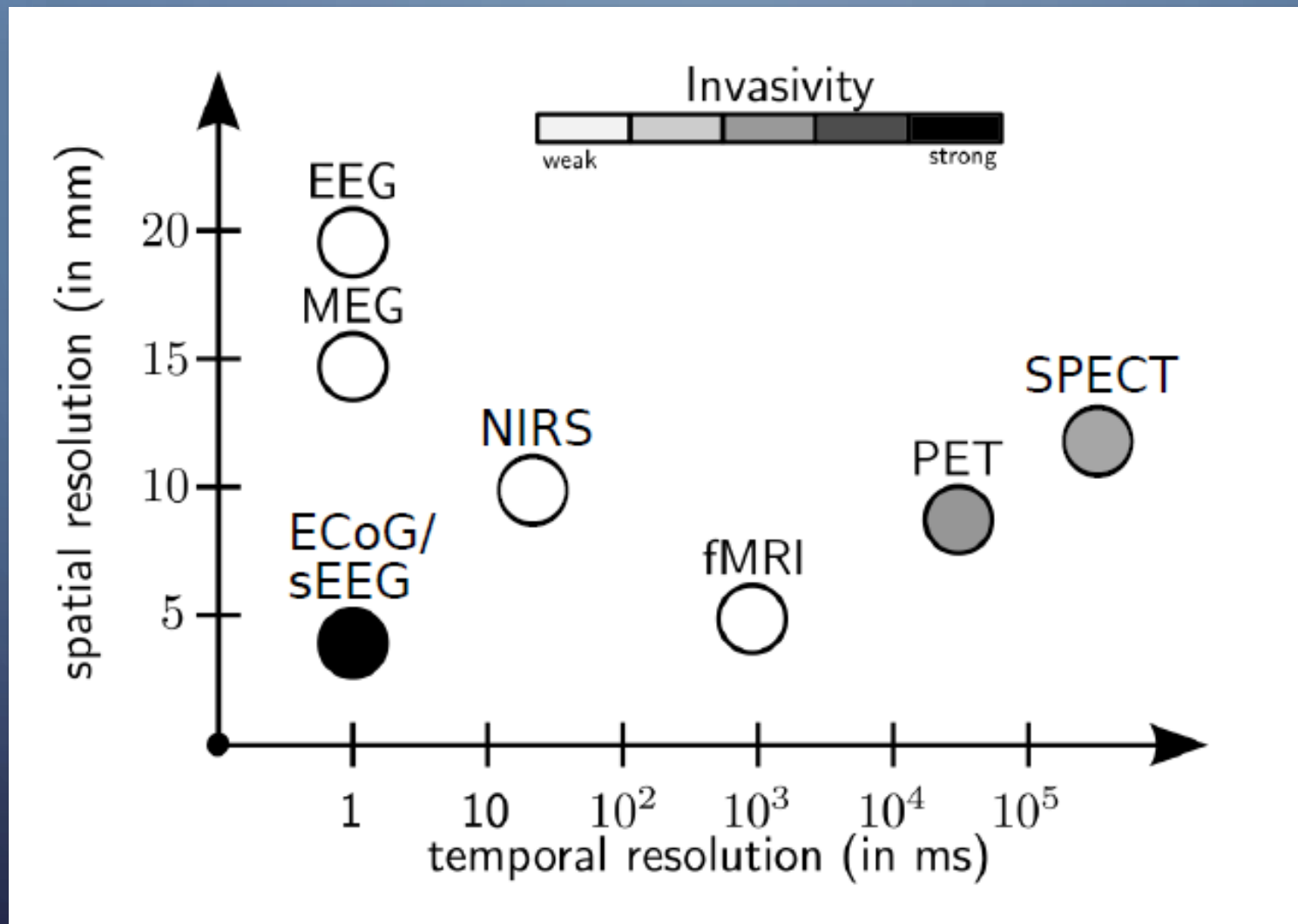


TECNICHE DI REGISTRAZIONE ATTIVITÀ CEREBRALE

→ Altre tecniche in grado di registrare direttamente l'attività neuronale sono invasive.



TECNICHE DI REGISTRAZIONE ATTIVITÀ CEREBRALE



HITZIGER, S. (2015)

ELETTROENCEFALOGRAFIA (EEG)

Pro

- ✓ Misura direttamente l'attività neurale
- ✓ Altissima risoluzione temporale (nell'ordine dei millisecondi)
- ✓ Economica, versatile e portatile

Contro

- ✗ Bassa risoluzione spaziale
- ✗ Basso signal-to-noise (SNR) ratio (contaminato da artefatti)
- ✗ Non riesce a registrare i segnali che vengono dalle strutture sottocorticali



BASI NEUROFISIOLOGICHE DELL'ELETTROENCEFALOGRAFIA

ALCUNI CONCETTI DI BASE ...

VOLTAGGIO

Differenza di potenziale elettrico, pressione elettrica o tensione elettrica è la differenza di potenziale elettrico tra due punti

Si misura in **volt** (nel caso dei neuroni **mV**)

Le differenze nelle concentrazioni di ioni sui lati opposti di una membrana cellulare portano a una tensione chiamata POTENZIALE DI MEMBRANA

CORRENTE

Flusso di cariche elettriche (particelle) da un punto ad un altro

$$\text{Corrente} = \text{Vtaggio} / \text{Resistenza}$$

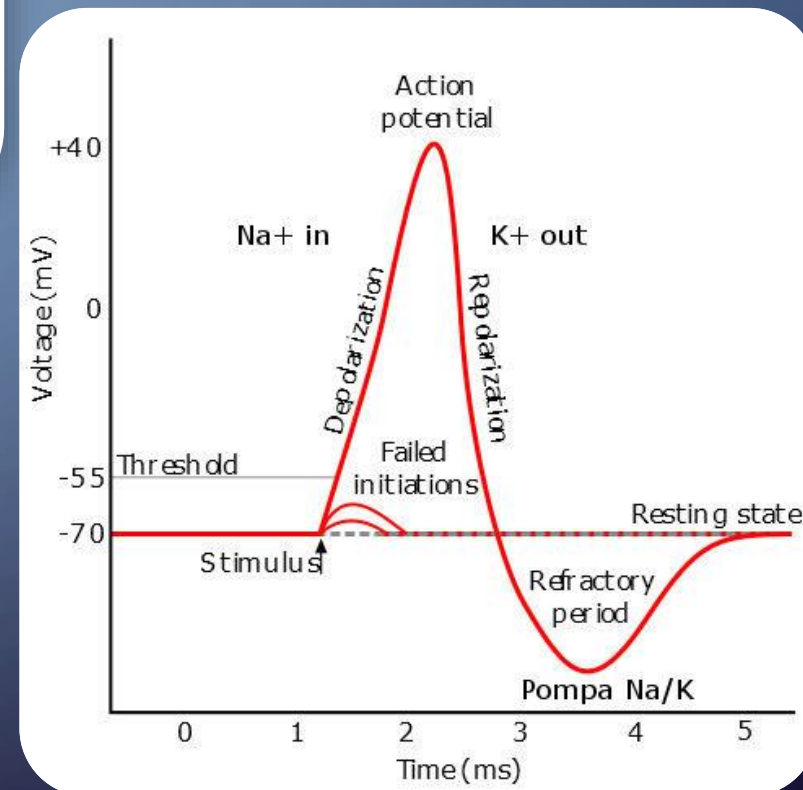
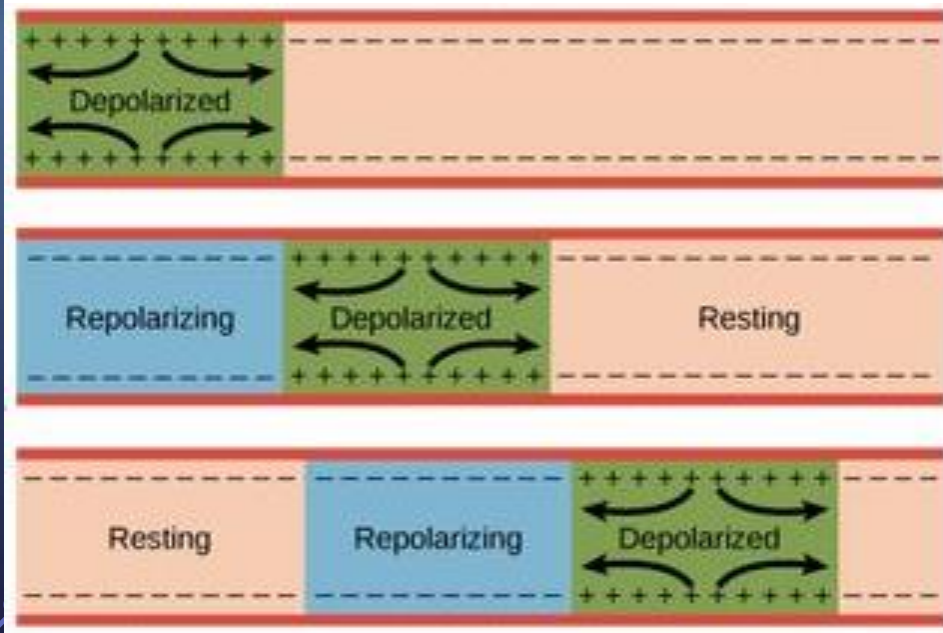
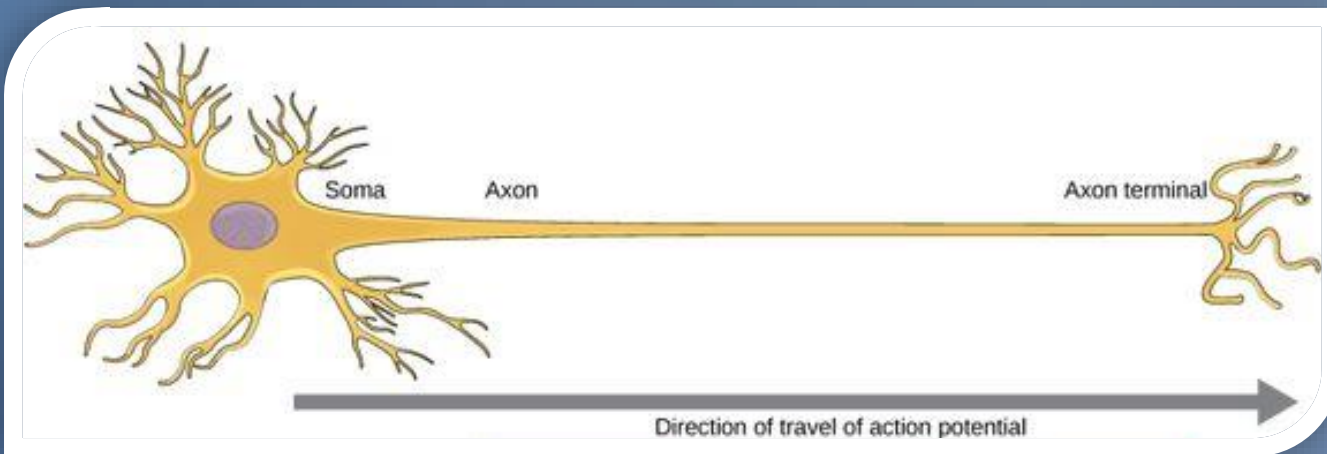
RESISTENZA

Proprietà di un corpo di opporsi al passaggio di corrente.

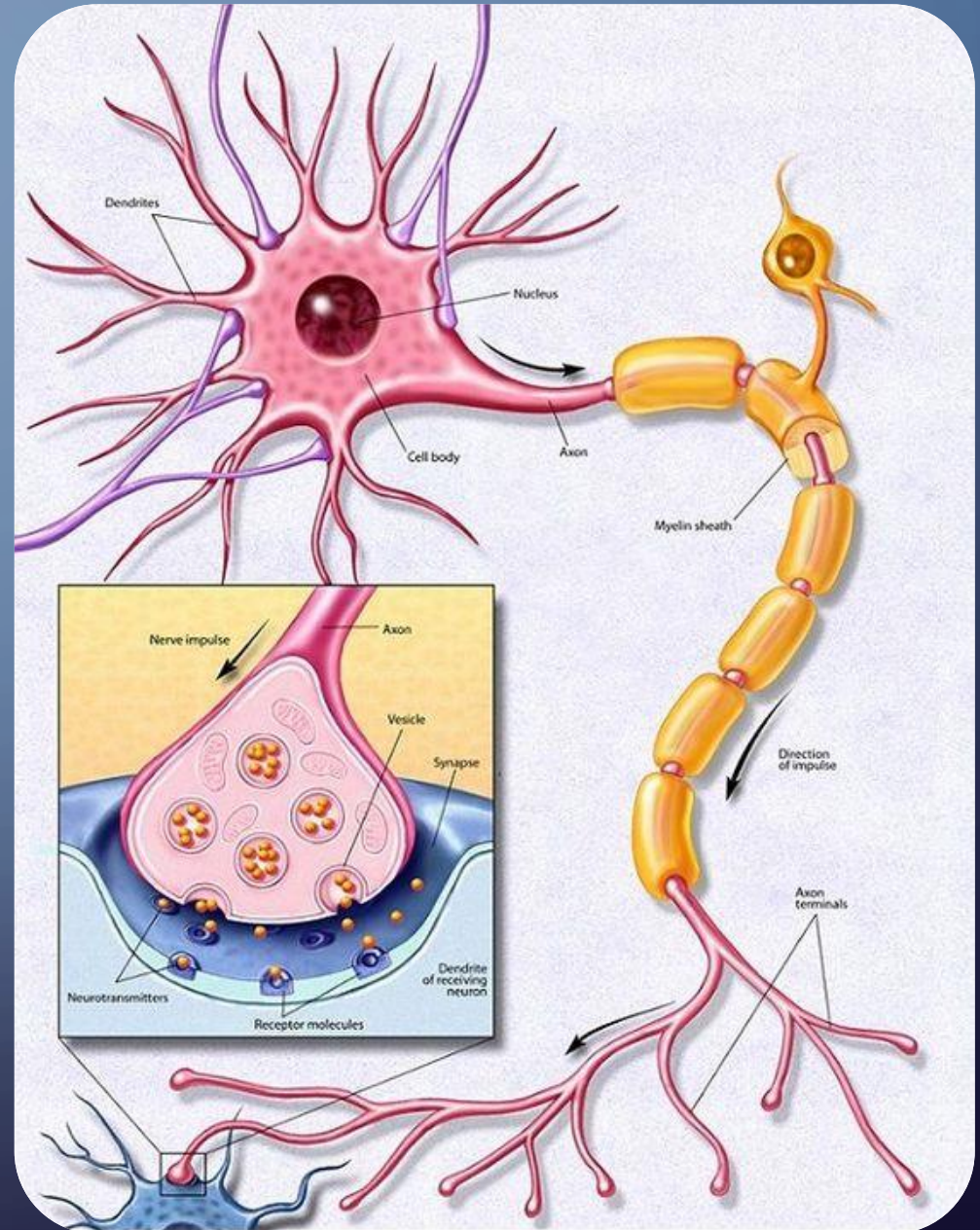
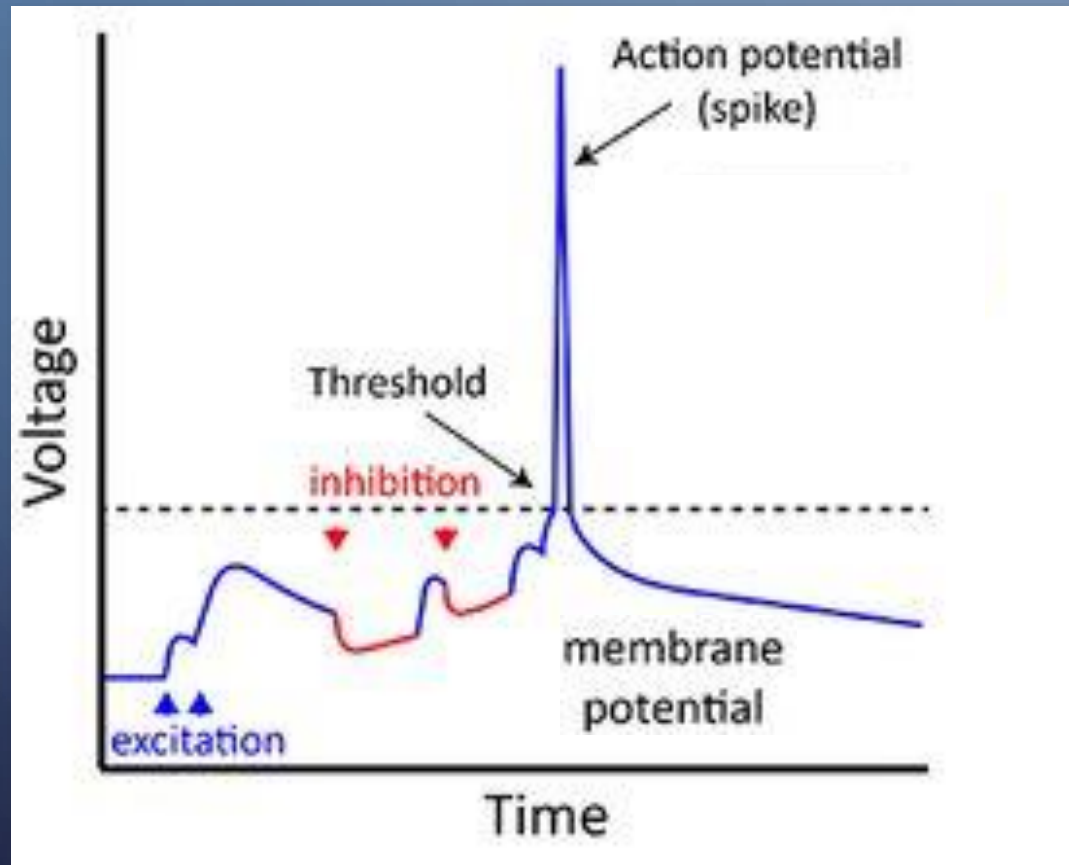
Dipende da composizione, lunghezza e diametro del corpo oltrepassato da corrente.

Alcune sostanze conducono elettricità meglio di altre, come l'argento (Ag).

NEURONE E POTENZIALE D'AZIONE



POTENZIALI POST-SINAPTICI



IN SINTESI ...

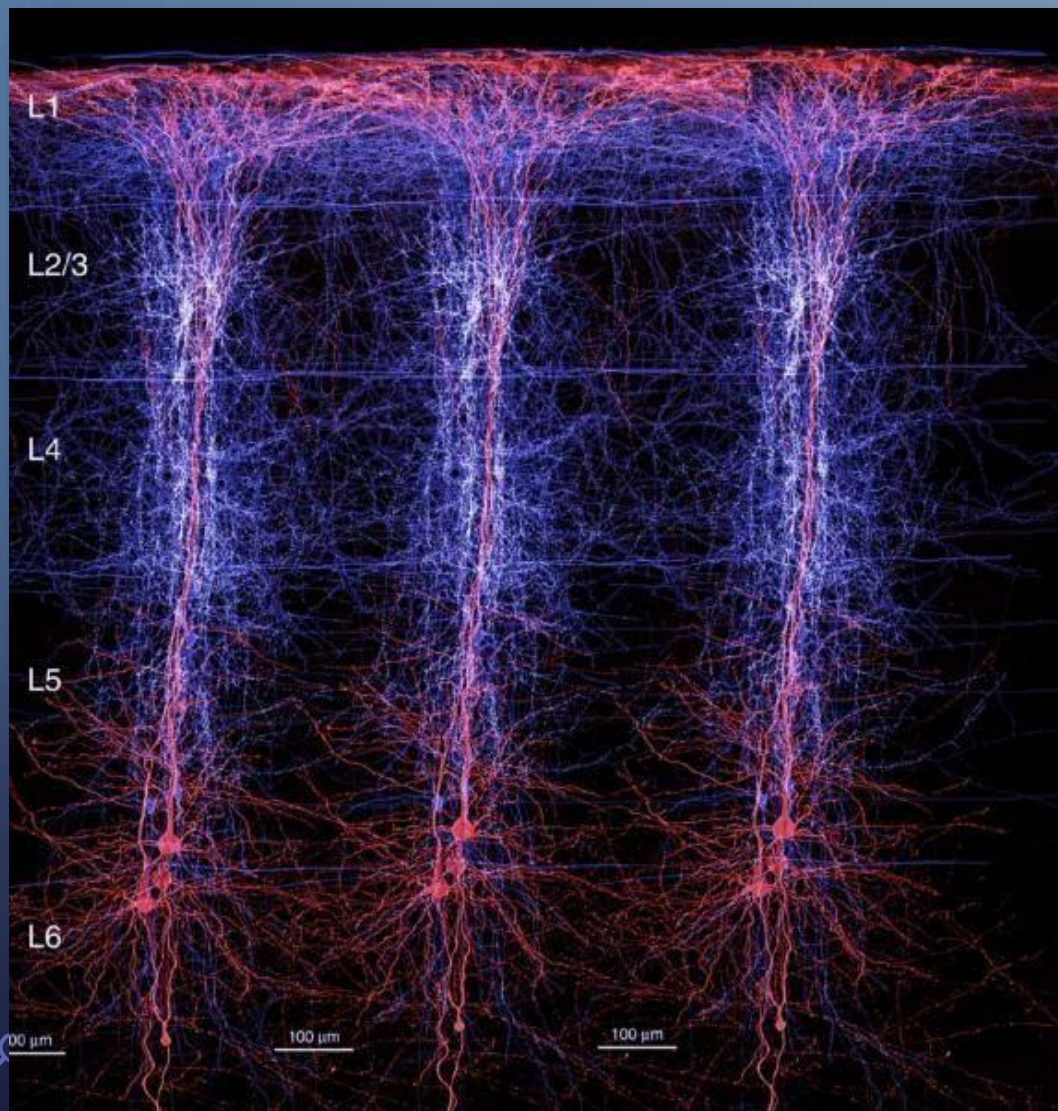
POTENZIALE D'AZIONE

- ✓ Fenomeno **TUTTO** o **NULLA**
- ✓ Solo eccitatorio
- ✓ Modulabile solo in frequenza
- ✓ Durata **breve**

POTENZIALE POST-SINAPTICO

- ✓ Fenomeno **GRADUATO**
- ✓ Eccitatorio o inibitorio
- ✓ Misurabile in ampiezza
- ✓ Durata **sostenuta**

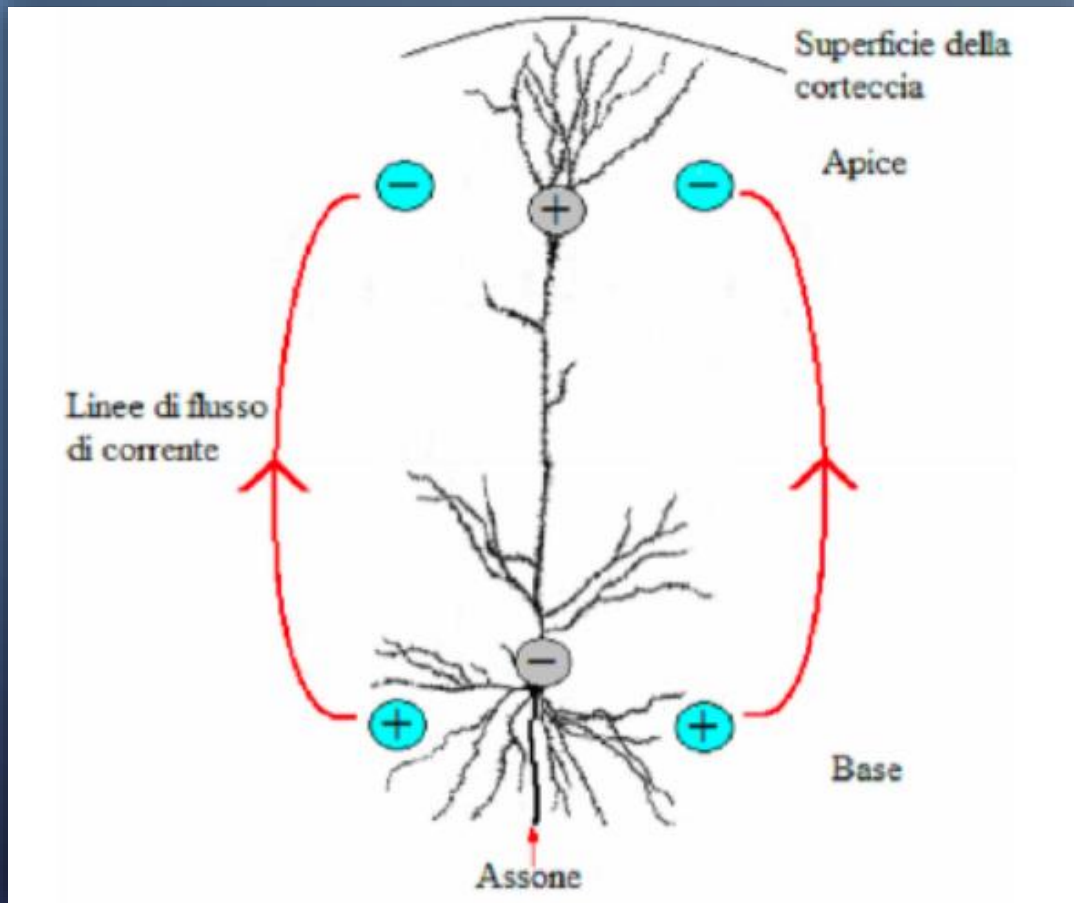
BASI NEUROFISIOLOGICHE DELL'EEG



COSA MISURA L'EEG?

- ✓ Registra i **POTENZIALI POST-SINAPTICI EXTRACELLULARI** dei **NEURONI PIRAMIDALI**
- ✓ Il segnale EEG è una misura della differenza di potenziale tra due elettrodi

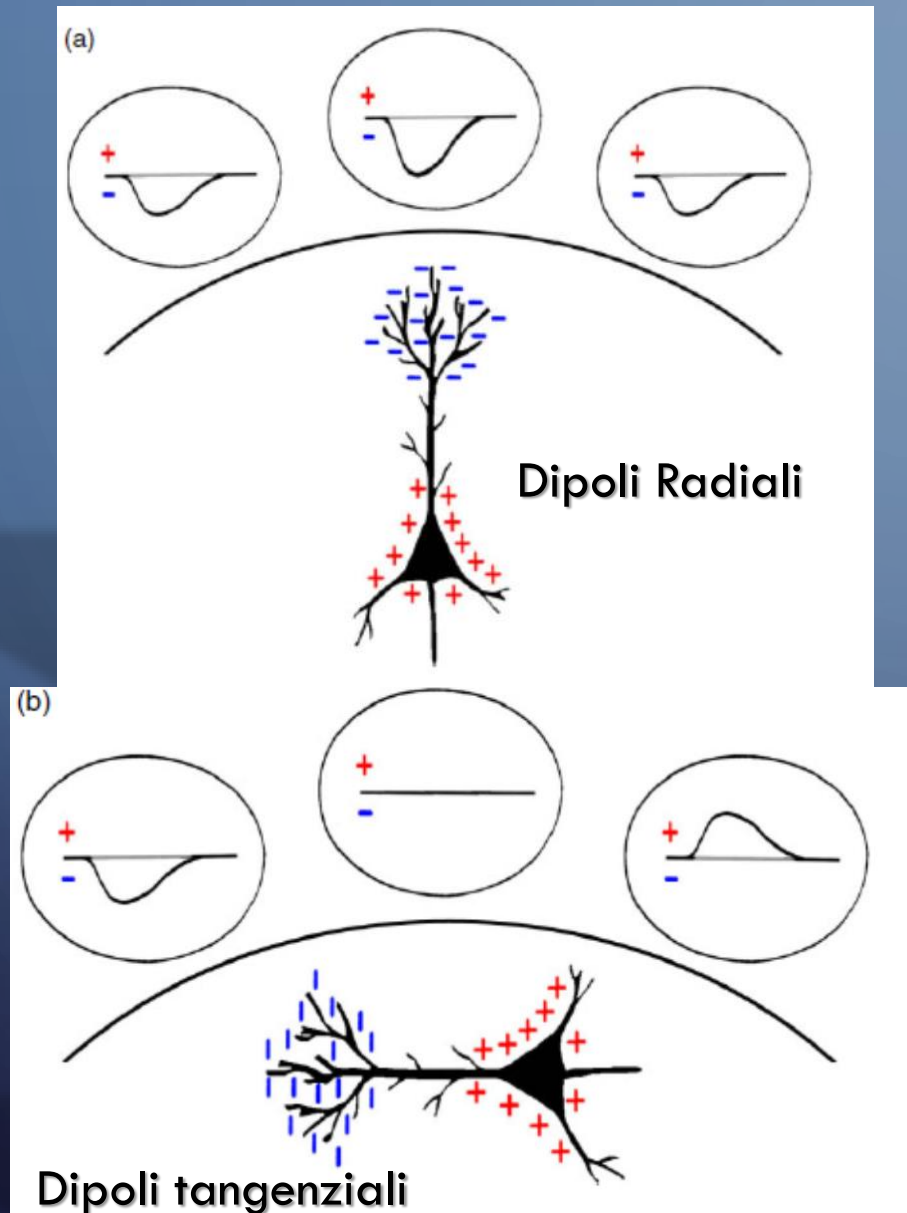
BASI NEUROFISIOLOGICHE DELL'EEG



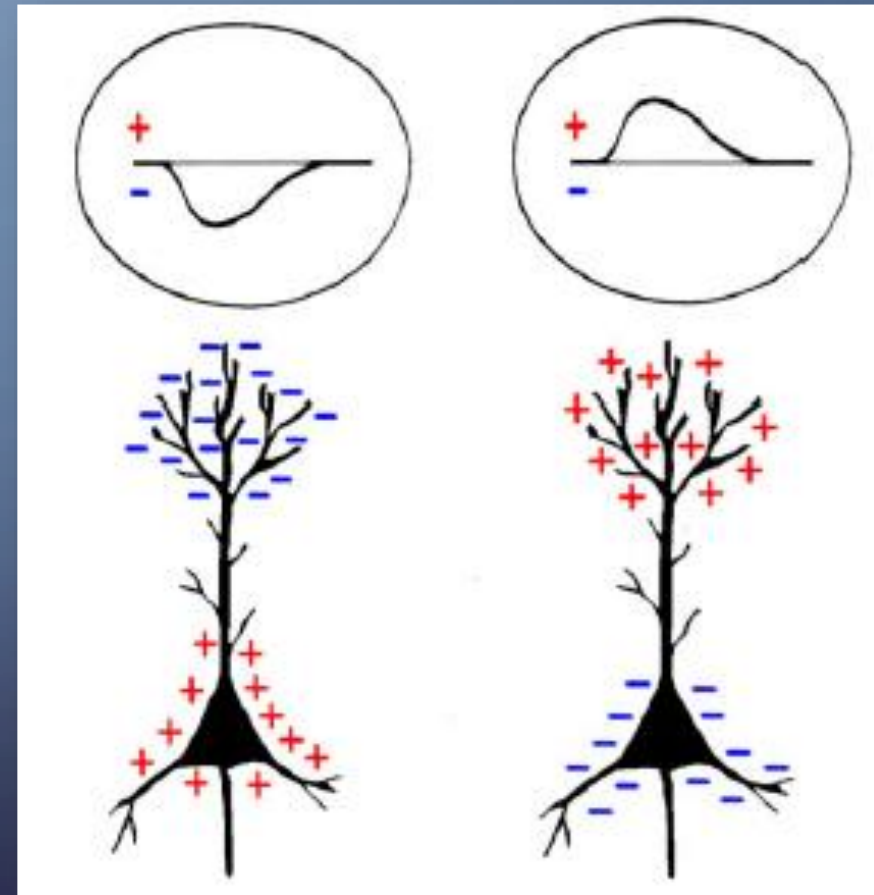
DIPOLO ELETTRICO

- ✓ L'eccitamento post sinaptico crea cambiamenti di voltaggio extracellulare, creando il cosiddetto **DIPOLO**.
- ✓ La regione caricata positivamente viene detta **source**, quella caricata negativamente **sink**.

BASI NEUROFISIOLOGICHE DELL'EEG

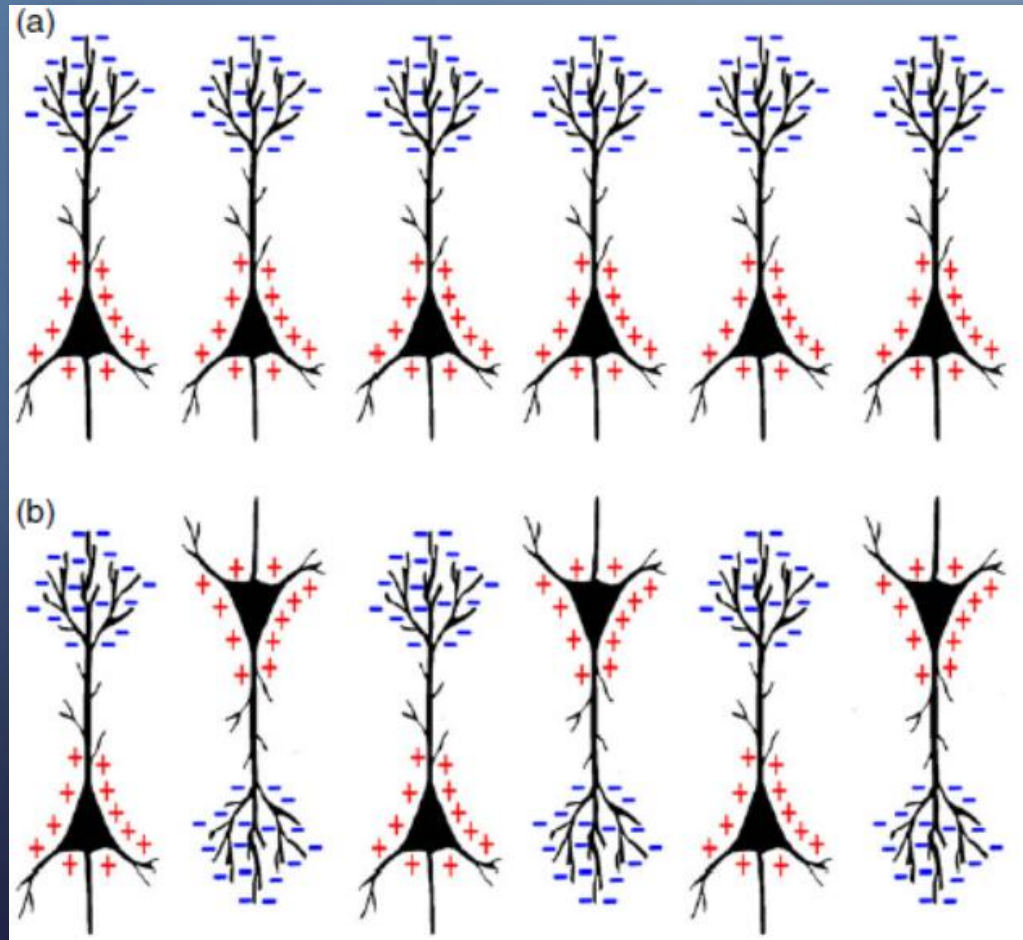


DIPOLO ELETTRICO

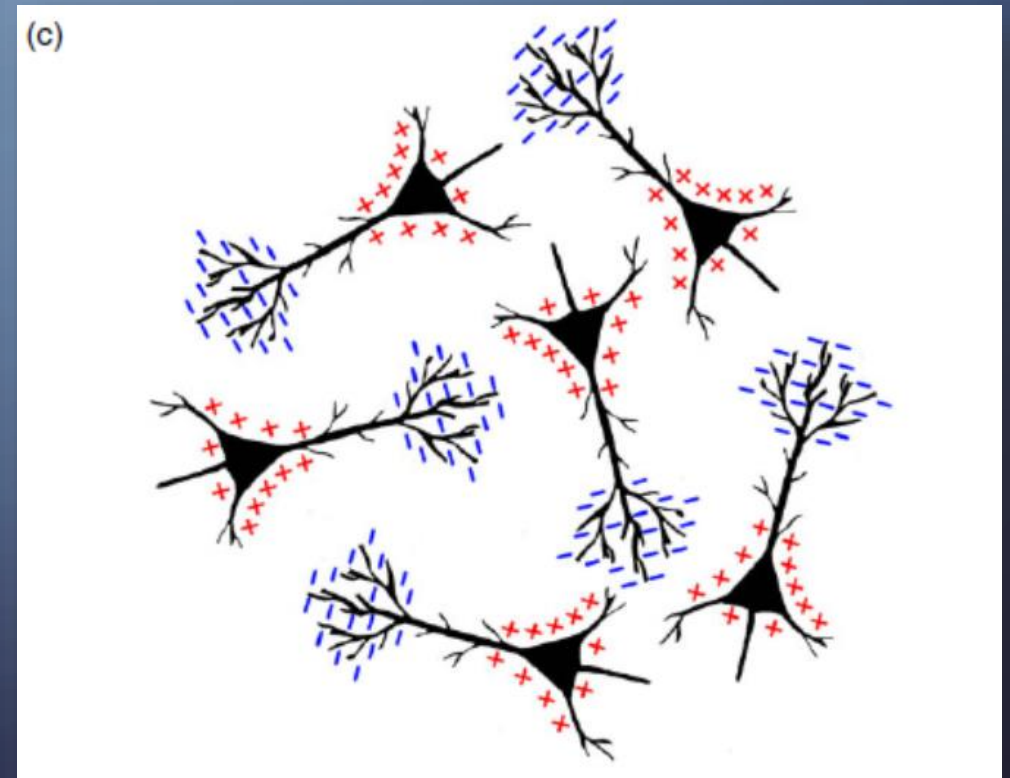


BASI NEUROFISIOLOGICHE DELL'EEG

CIRCUITO APERTO



CIRCUITO CHIUSO





IN SINTESI ...

COSA MISURA L'EEG?

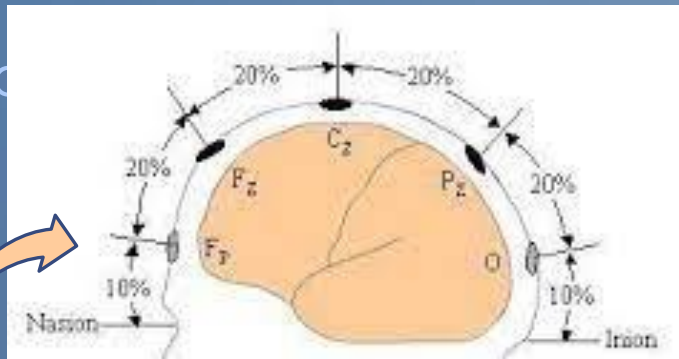
- ✓ Potenziali post-sinaptici extracellulari
- ✓ Attività di più neuroni
- ✓ Attività sincrona
- ✓ Cellule piramidali (circuitto aperto)

COSA NON MISURA L'EEG

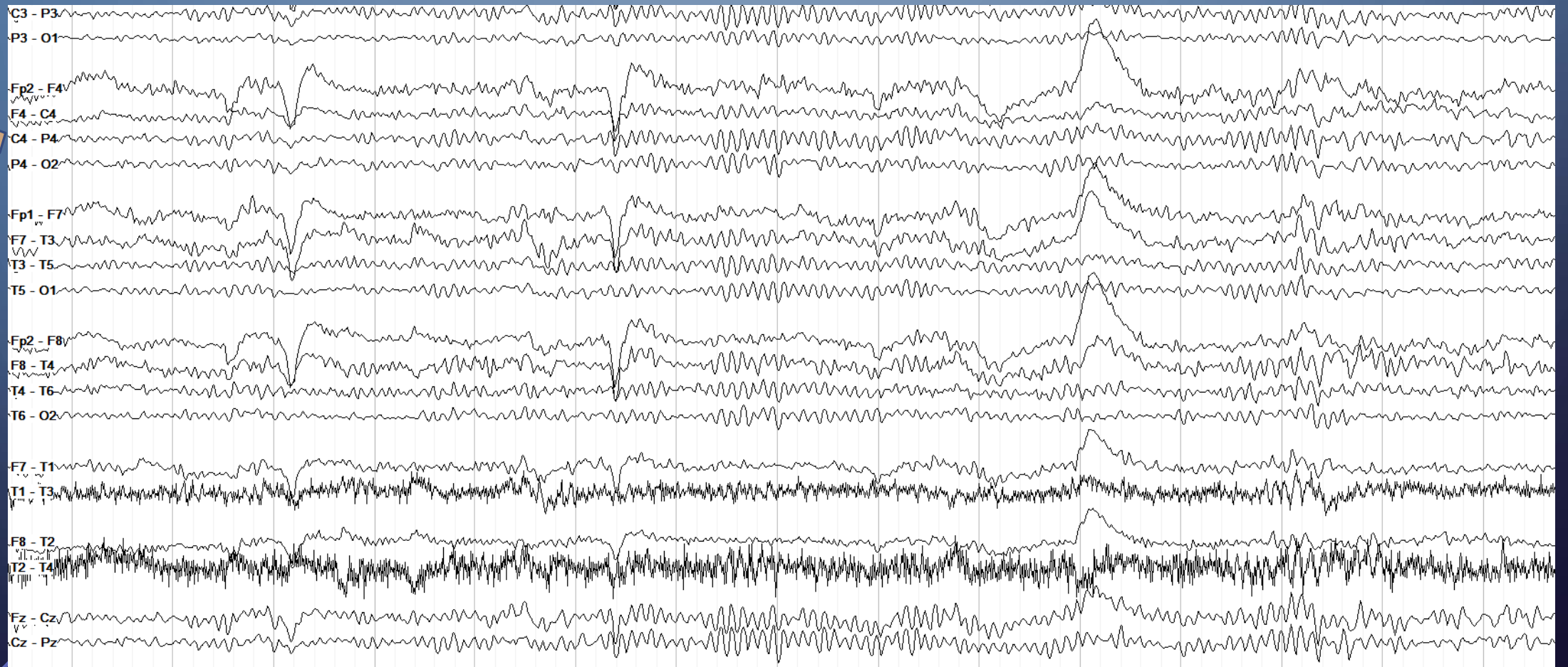
- ✗ Potenziali d'azione (deboli e brevi)
 - ✗ Attività dei singoli neuroni (deboli e brevi)
 - ✗ Attività asincrona (annulla i dipoli)
 - ✗ Cellule gliali (circuitto chiuso)
- 



IL SEGNALE ELETTROENCEFALOGRAFICO

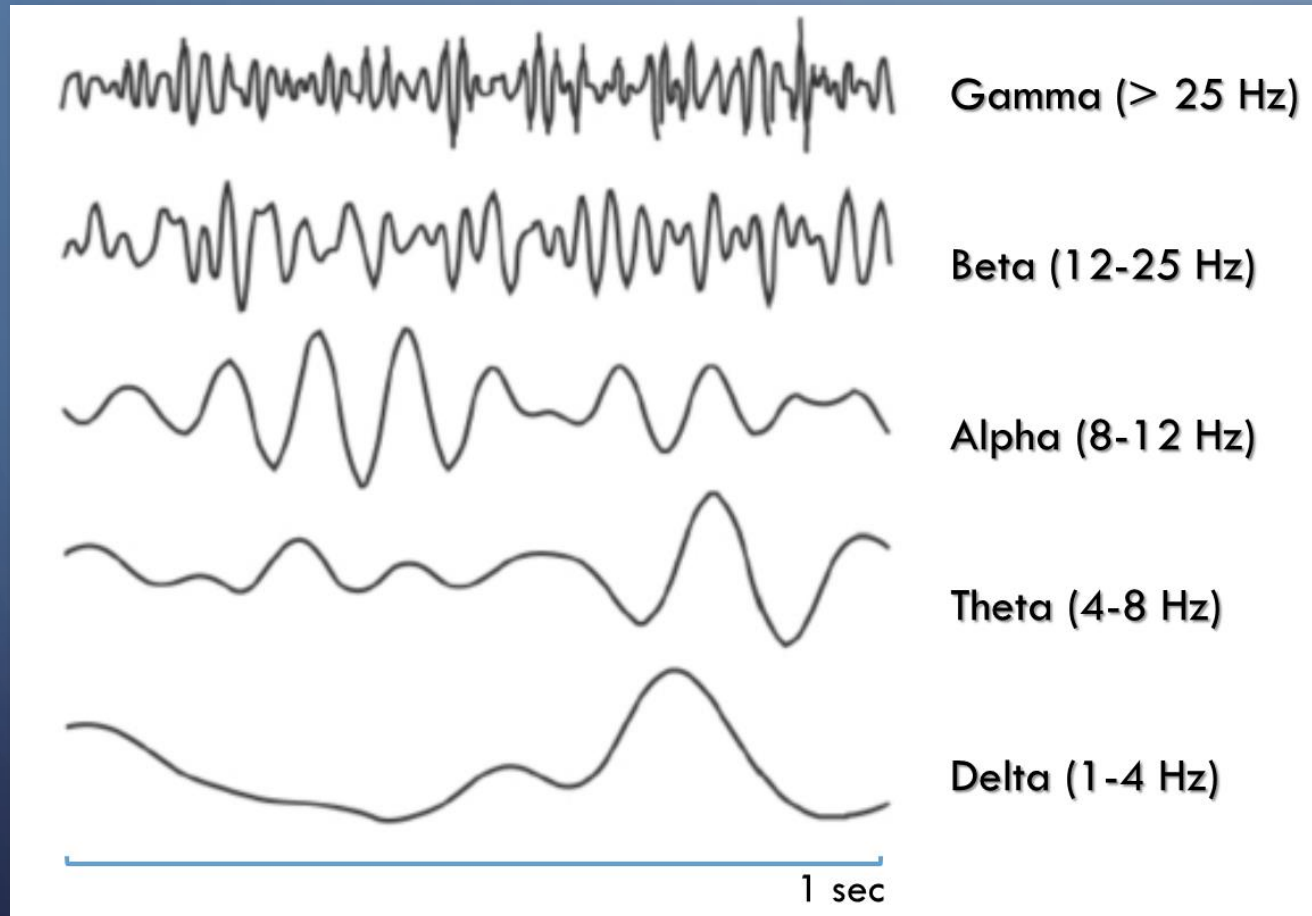


IL SEGNALE EEG



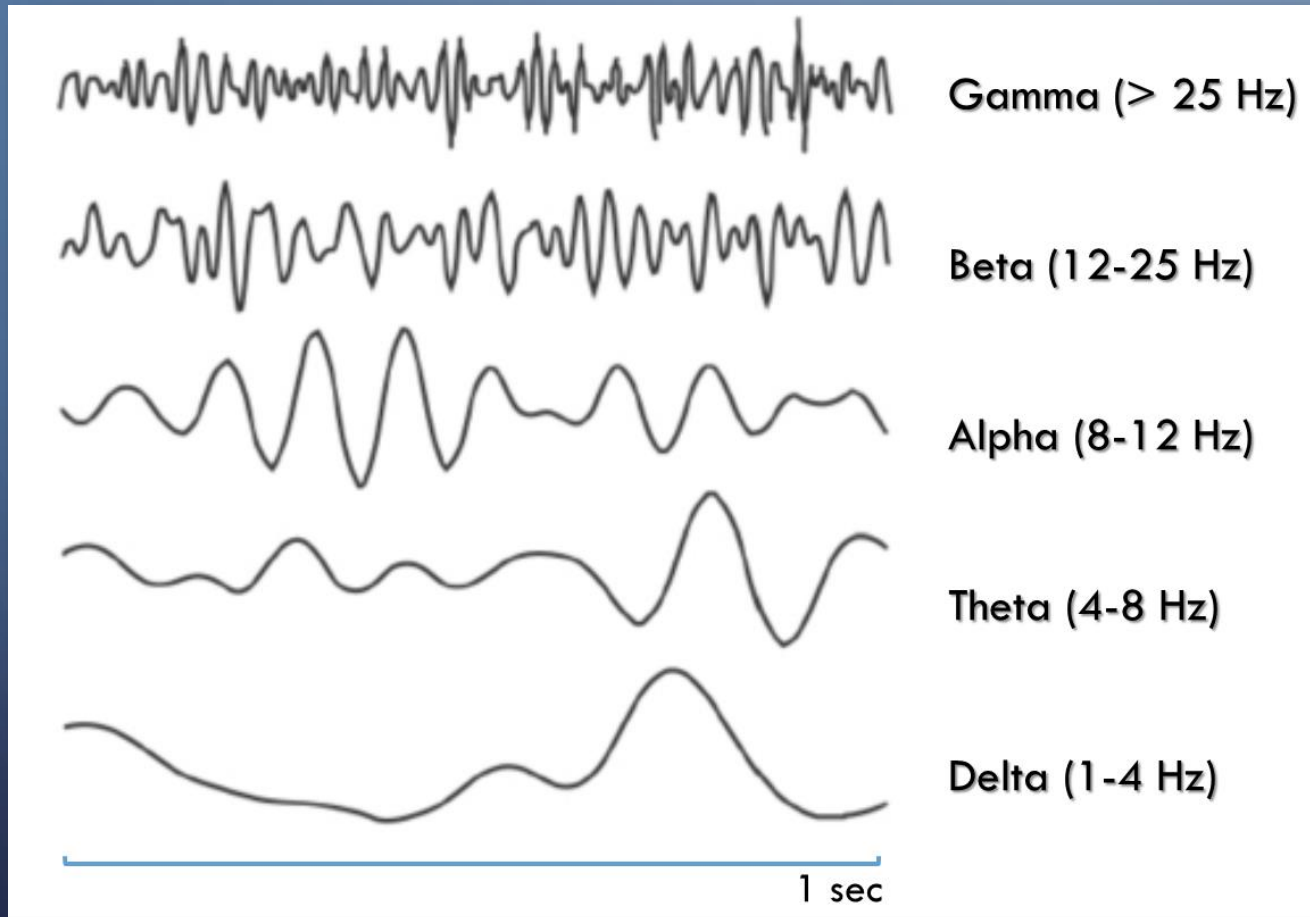
LE ONDE CEREBRALI

ALPHA (α)



- ✓ Osservate per la prima volta da Berger nel 1929.
- ✓ Sono generate nelle aree occipito-parietali.
- ✓ Aumentano durante il rilassamento mentale e fisico ad gli occhi chiusi; sono soppresse durante l'attività mentale o fisica ad gli occhi aperti.
- ✓ La soppressione del ritmo alpha costituisce una valida firma degli stati di attività mentale e di impegno; si osserva durante l'attenzione focalizzata verso qualsiasi tipo di stimolo (Pfurtscheller & Aranibar, 1977).

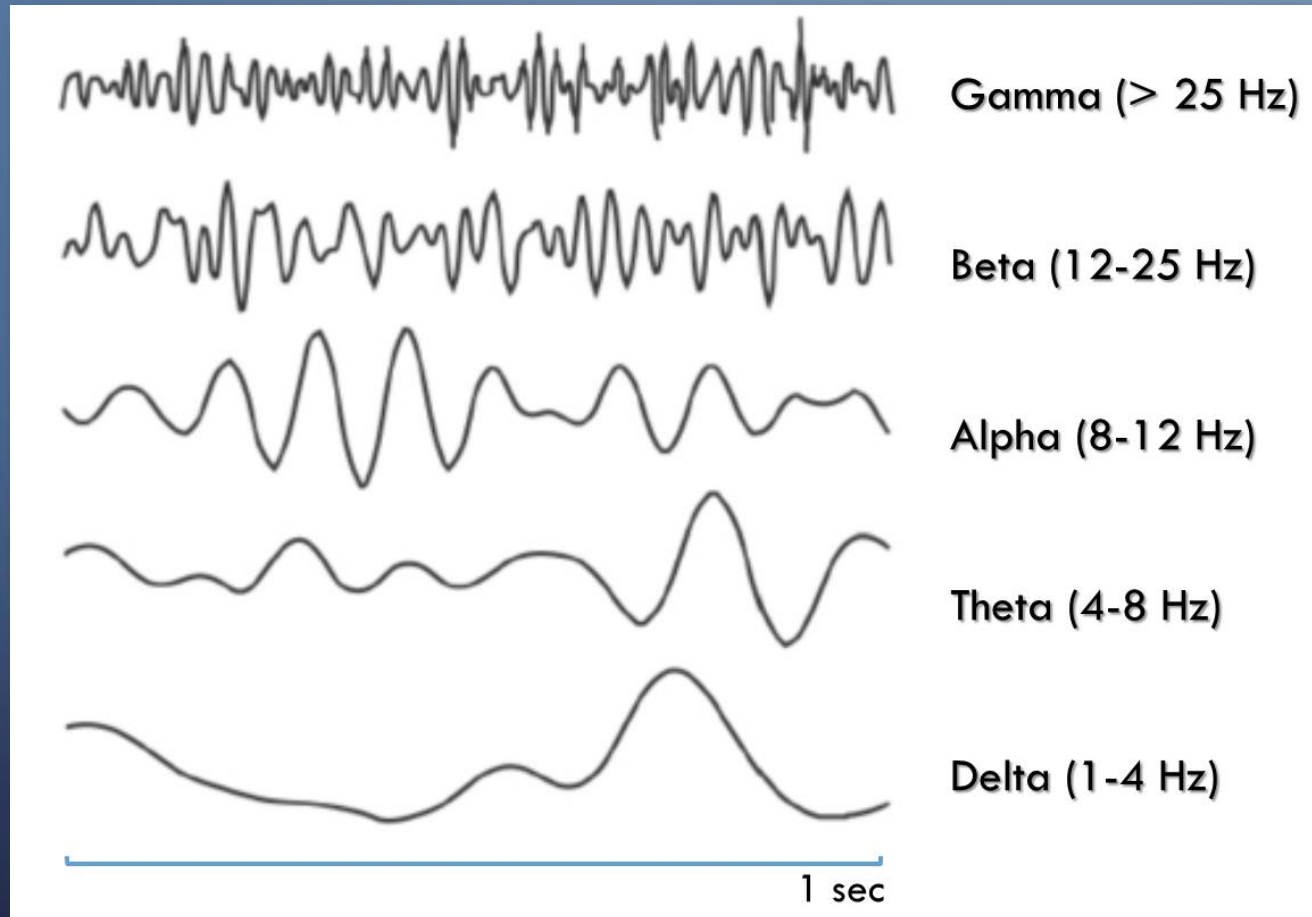
LE ONDE CEREBRALI



BETA (β)

- ✓ Berger coniò il termine “onde beta”.
- ✓ Sono generate nelle aree centro-parietali e frontali.
- ✓ Movimento, pensiero e concentrazione attivi sono correlati a una maggiore potenza in β .
- ✓ Nelle aree sensorimotorie si osserva la tipica modulazione in β rispetto al movimento: forti soppressioni durante la pianificazione ed esecuzione del movimento seguite da un rimbalzo dell'attività al termine del movimento (Kilavik et al., 2013).

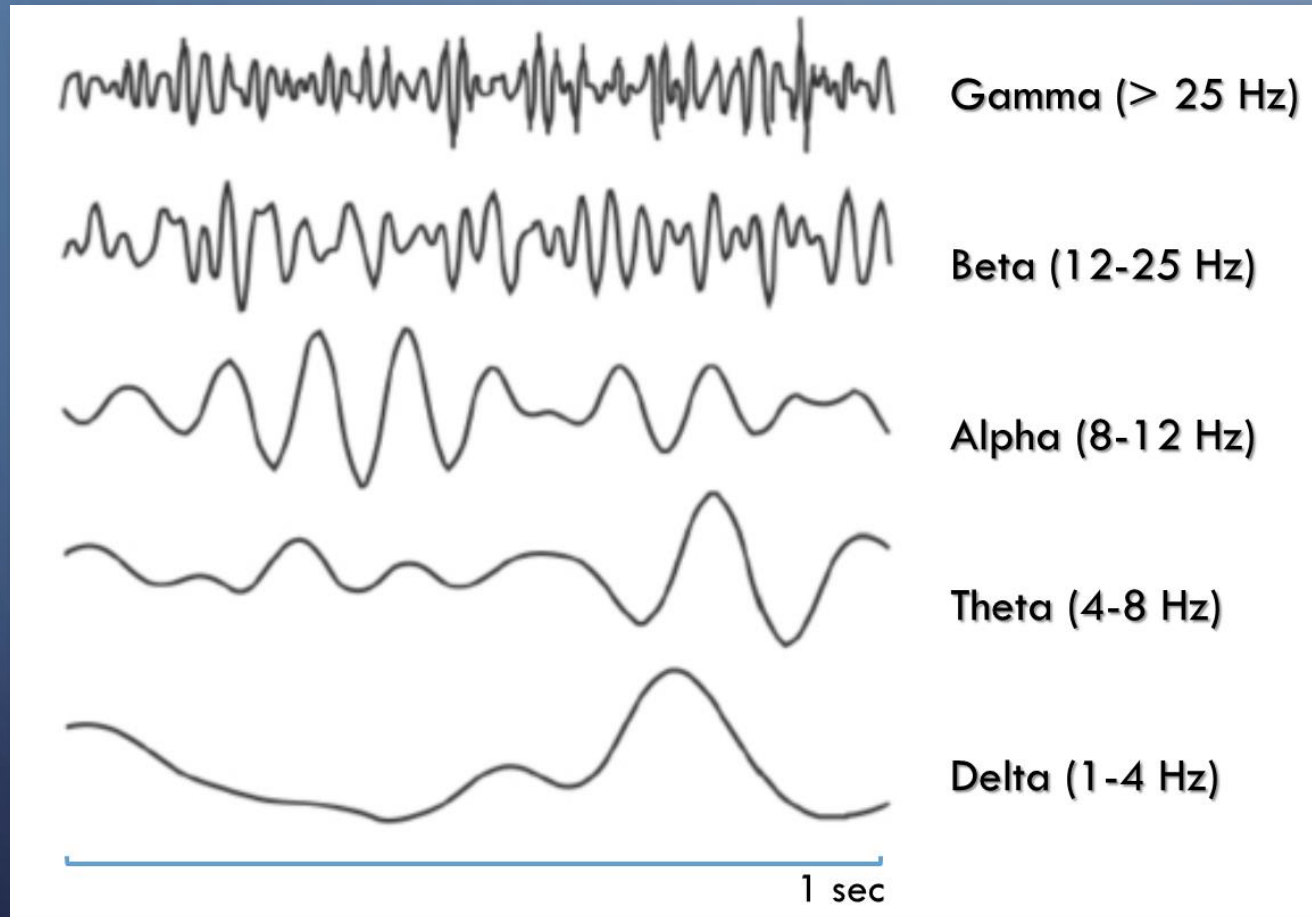
LE ONDE CEREBRALI



GAMMA (γ)

- ✓ Osservate per la prima volta nella corteccia visiva delle scimmie (Hughes 1964).
- ✓ Sono generate dalle connessioni delle aree corticali, basali e del talamo.
- ✓ Controversie:
 γ funge da frequenza portante per legare insieme varie impressioni sensoriali di un oggetto in una forma coerente, riflettendo quindi un processo attenzionale? Oppure è un sottoprodotto di altri processi neurali, come i movimenti oculari (Nowak et al., 2018.)

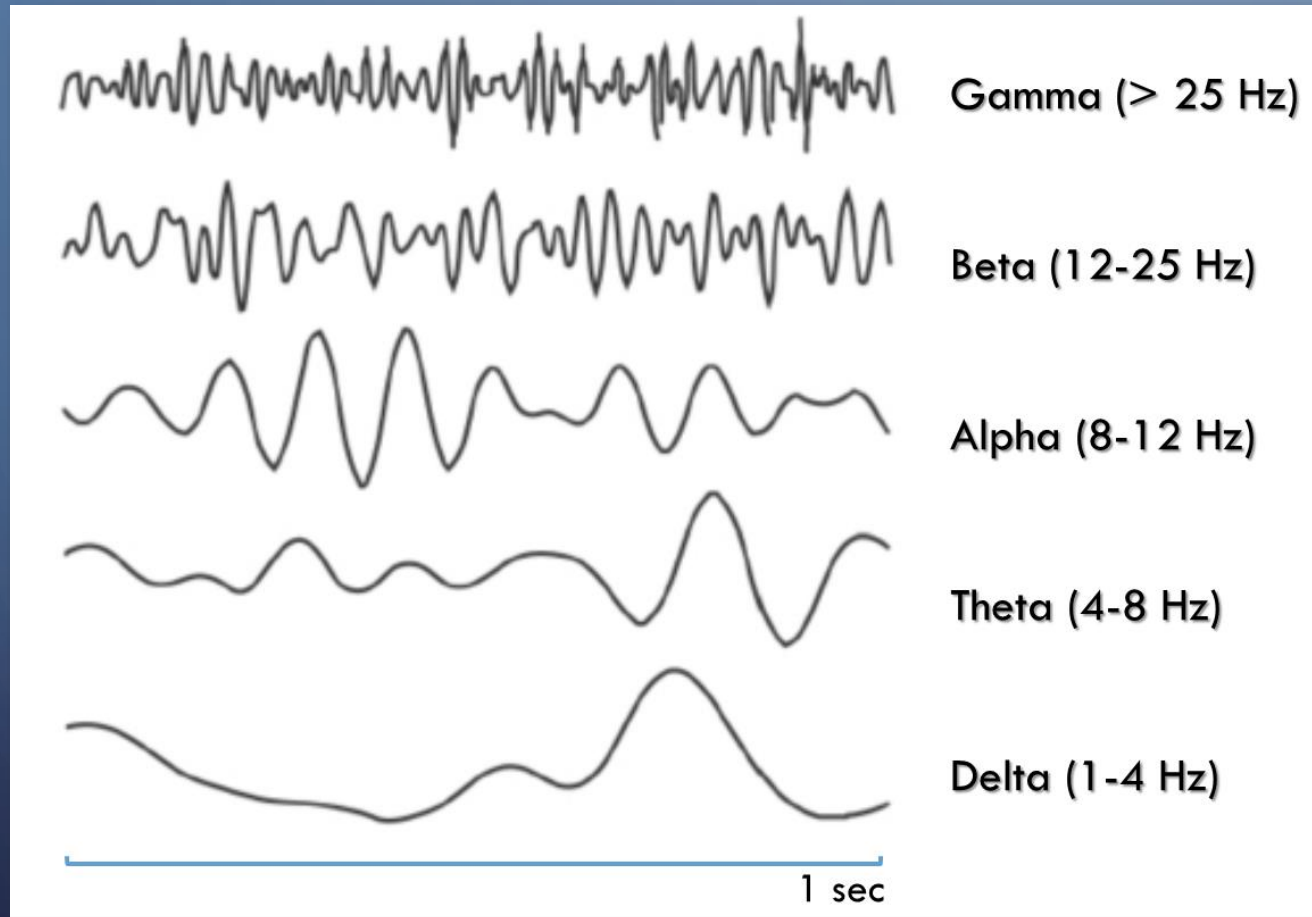
LE ONDE CEREBRALI



THETA (ϑ)

- ✓ Theta può essere registrato da tutta la corteccia, indicando che è generato da una rete ad ampio raggio che coinvolge le aree prefrontali mediali, le cortecce temporali centrali, parietali e medial.
- ✓ L'attività theta frontale è in correlazione con la difficoltà di operazioni mentali, ad esempio durante l'attenzione focalizzata, diversi tipi di apprendimento o durante il richiamo della memoria (O'Keefe & Burgess, 1999).
- ✓ Coppia ϑ - γ nella formazione di nuove memorie motorie, nel passaggio dal controllo feedback al feedforward (Perfetti et al., 2011)

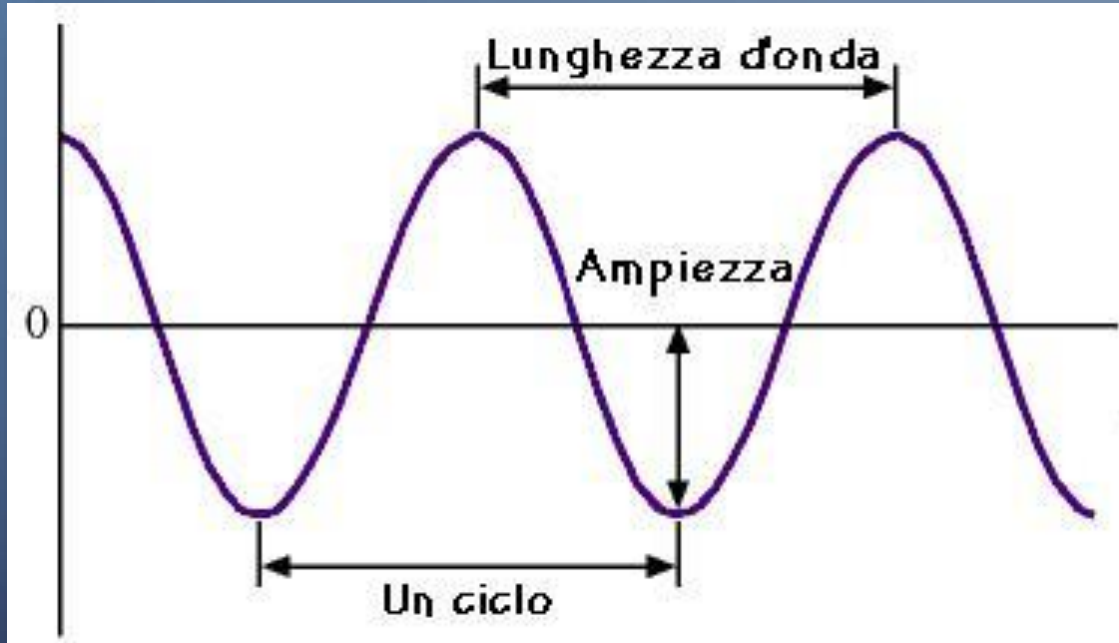
LE ONDE CEREBRALI



DELTA (δ)

- ✓ Detta anche attività ad onde lente (SWA).
- ✓ Si osserva durante gli stadi profondi di sonno (N-REM o ad onde lente).
- ✓ Le frequenze δ sono più forti nell'emisfero cerebrale destro e le sorgenti sono tipicamente localizzate nel talamo.
- ✓ Poiché il sonno è associato al consolidamento della memoria, le frequenze delta svolgono un ruolo fondamentale nei processi di potenziamento a lungo termine (Tononi & Cirelli 2006).

LE ONDE CEREBRALI



Frequenza è il numero di ripetizioni del ciclo per secondo.

Ciclo/Periodo è la durata di un ciclo.

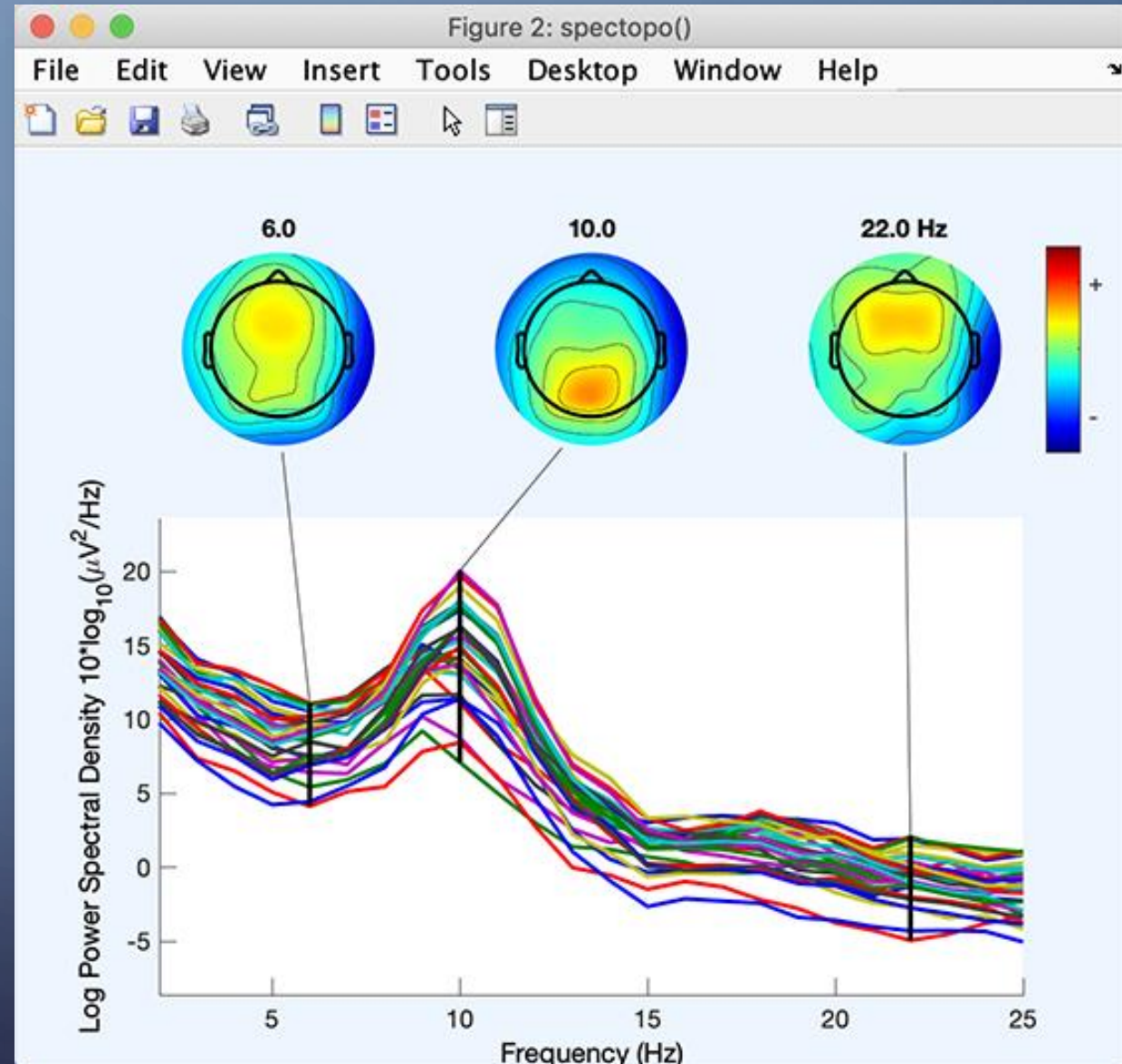
Ampiezza è il massimo valore che l'oscillazione può assumere in un dato tempo (t) rispetto ad un valore di riferimento.

Lunghezza d'onda è la distanza tra due minimi o massimi consecutivi.

Fase è la frazione di periodo trascorsa rispetto ad un tempo fissato.

IL SEGNALE EEG

L'EEG è un **RUMORE ROSA** ossia un segnale con un caratteristico spettro di frequenza la cui densità di potenza è **INVERSAMENTE PROPORZIONALE** alla frequenza del segnale.

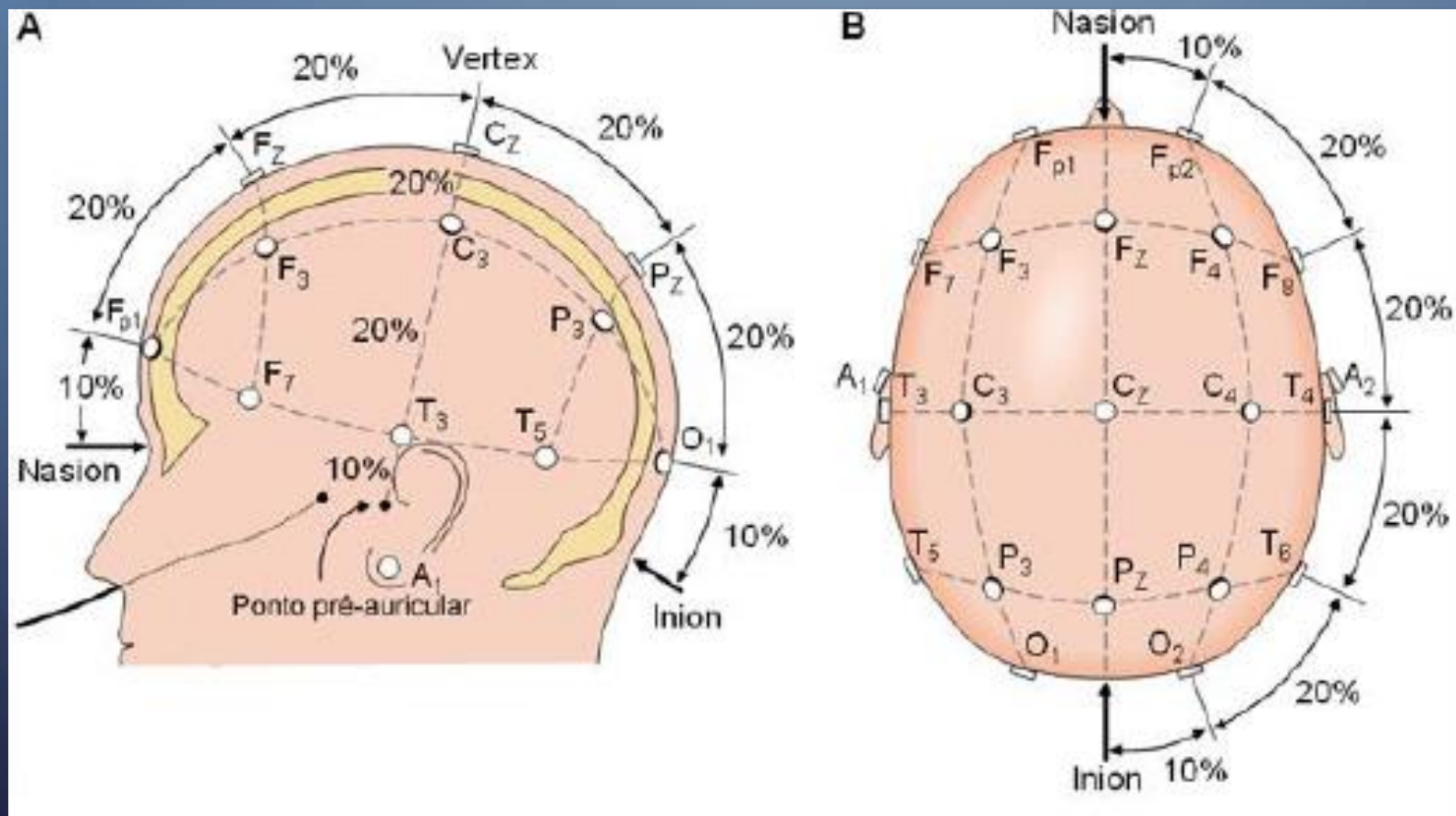




COME REGISTRARE UN EEG?

COME SI REGISTRA UN EEG?

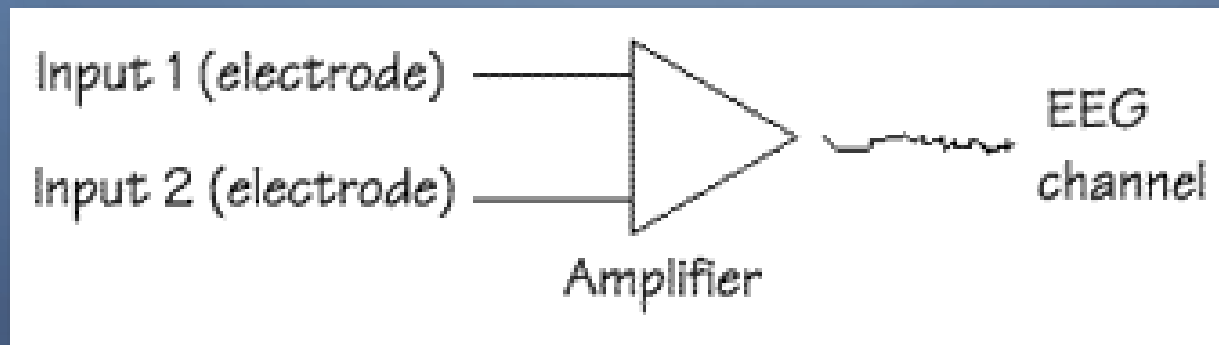
SISTEMA 10-20



COME SI REGISTRA UN EEG?

MONTAGGIO

→ I sistemi per l'acquisizione del segnale EEG utilizzano un amplificatore differenziale per produrre l'attività di ciascun canale.

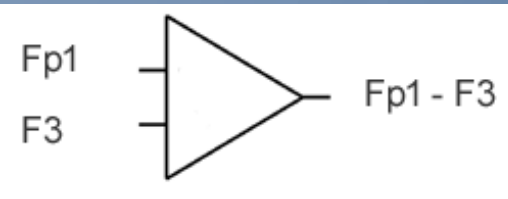


→ Il modo in cui le coppie di elettrodi sono collegate a ciascun amplificatore della macchina EEG è chiamato montaggio.

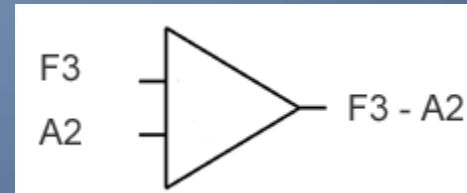
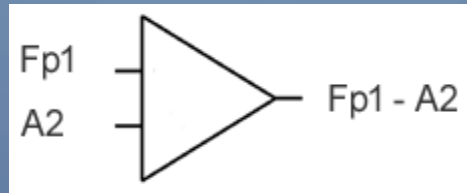
COME SI REGISTRA UN EEG?

SCELTA DELLA REFERENZA

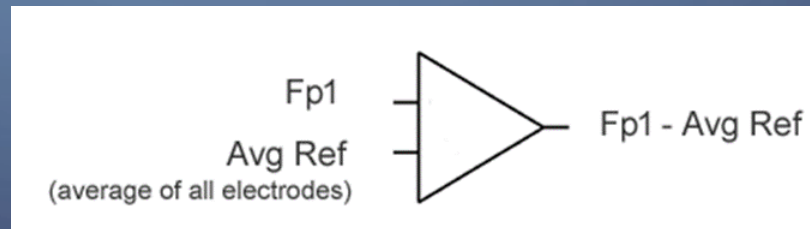
Montaggio bipolare o sequenziale



Montaggio referenziale



Referenza media



Montaggio Laplanchano (referenza media pesata sulla posizione degli elettrodi)



COME ANALIZZARE UN EEG?

ANALISI OFFLINE DEL SEGNALE EEG

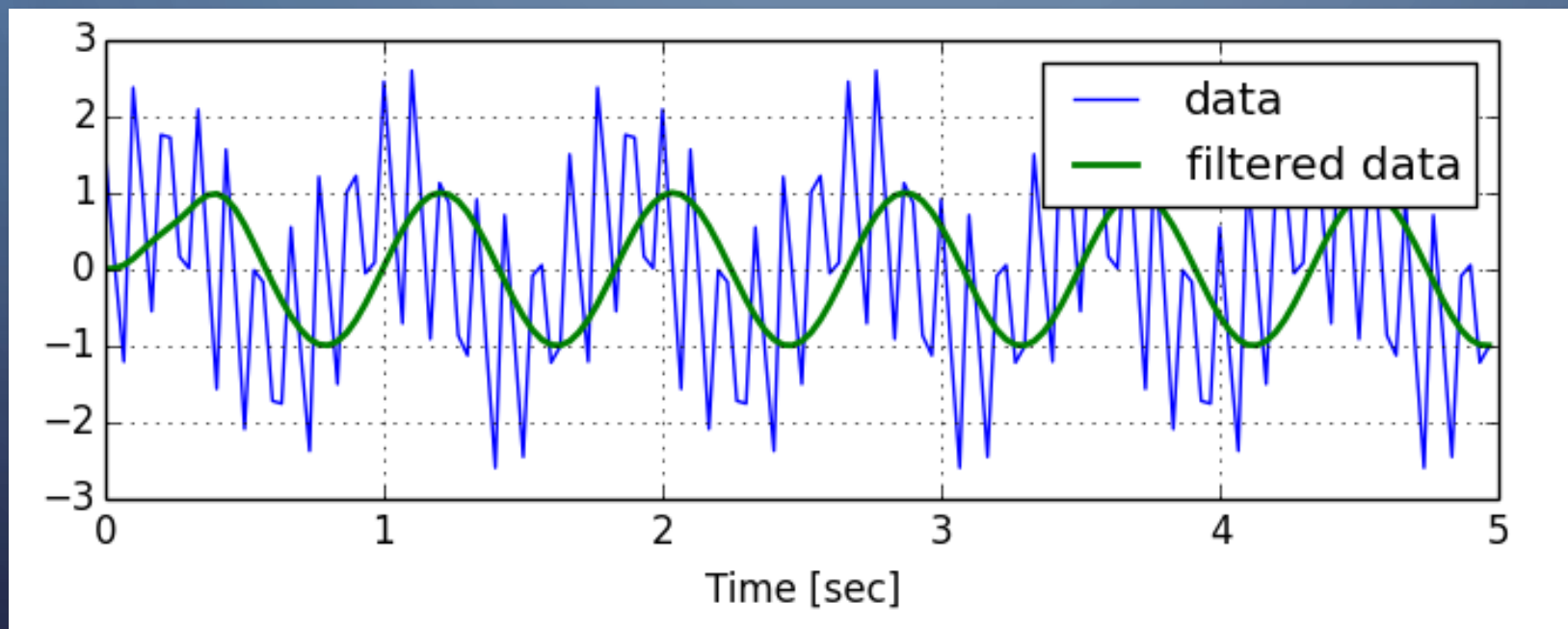
PRE-PROCESSAMENTO

- IMPORTARE I DATI IN UN SOFTWARE AD HOC
- REGISTRARE LA POSIZIONE DEI CANALI
- FILTRAGGIO DATI GREZZI
- SEGMENTAZIONE DEL TRACCIATO (EPOCHING)
- RIMOZIONE DI CANALI ED EPOCHES COMPROMESSE
- ANALISI COMPONENTI PRINCIPALI (ICA)
- RIMOZIONE DELLE COMPONENTI ARTEFATTUALI
- INTERPOLAZIONE DEI CANALI
- REFERENZA MEDIA

PRE-PROCESSAMENTO

➤ FILTRAGGIO

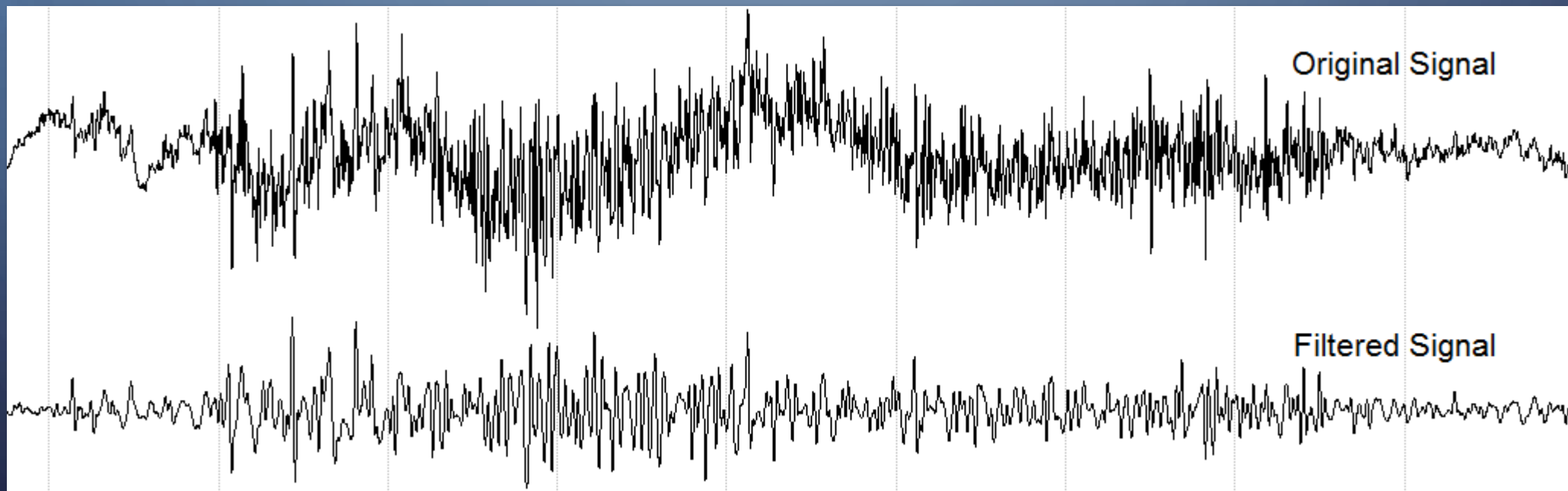
Filtro passa-basso (low-pass) è usato per tagliar fuori le frequenze alte e ridurre il rumore.



PRE-PROCESSAMENTO

➤ FILTRAGGIO

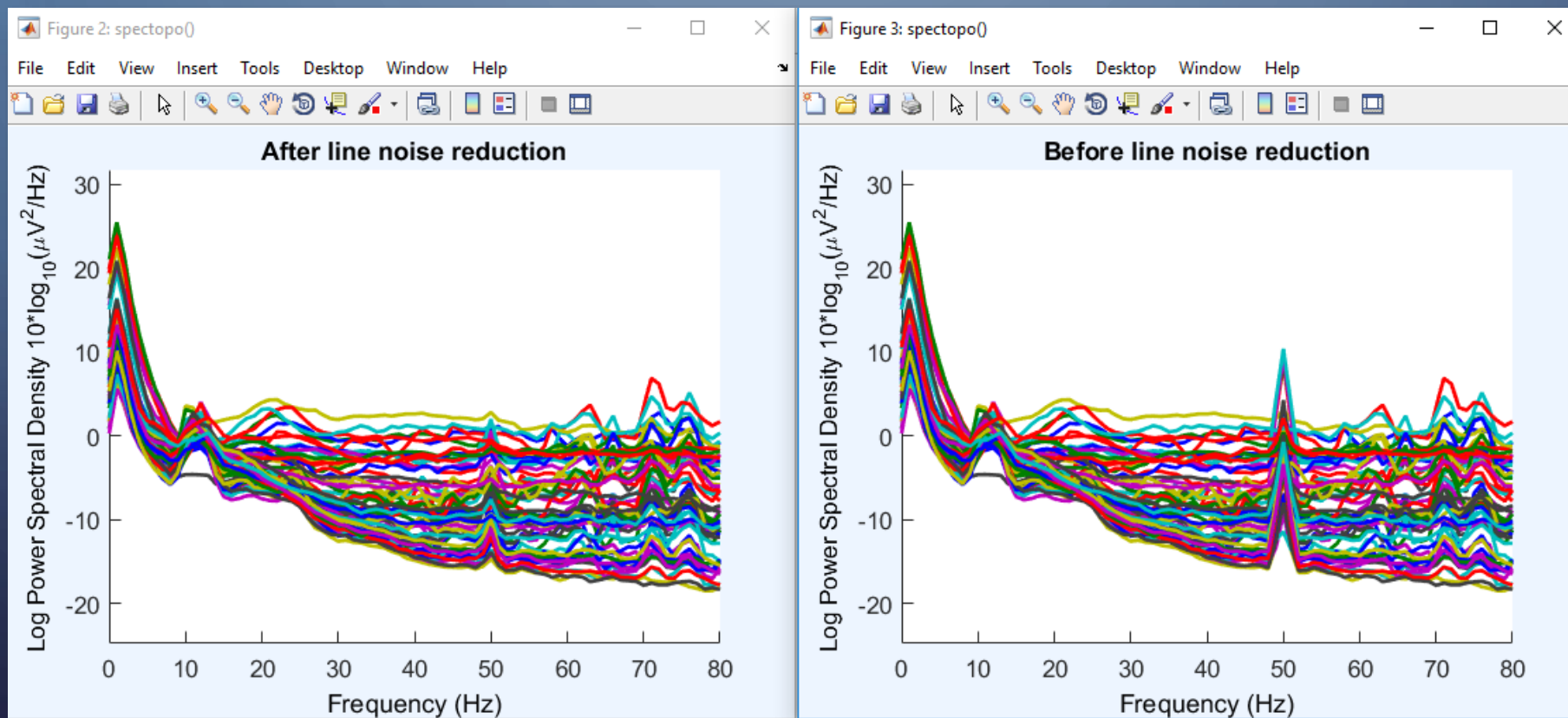
Filtro passa-alto (high-pass) è usato per tagliar fuori le frequenze basse e rimuovere le derive lente e lunghe del segnale.



PRE-PROCESSAMENTO

➤ FILTRAGGIO

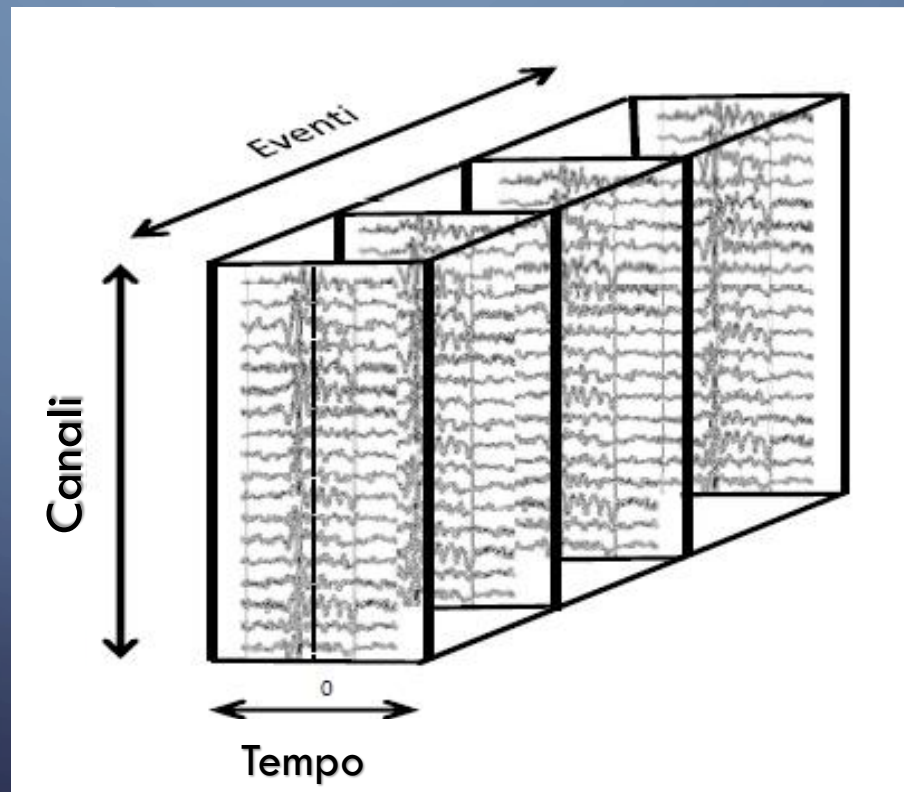
Notch filter/Band-stop usato per eliminare il line noise



PRE-PROCESSAMENTO

2. SEGMENTAZIONE (EPOCHING)

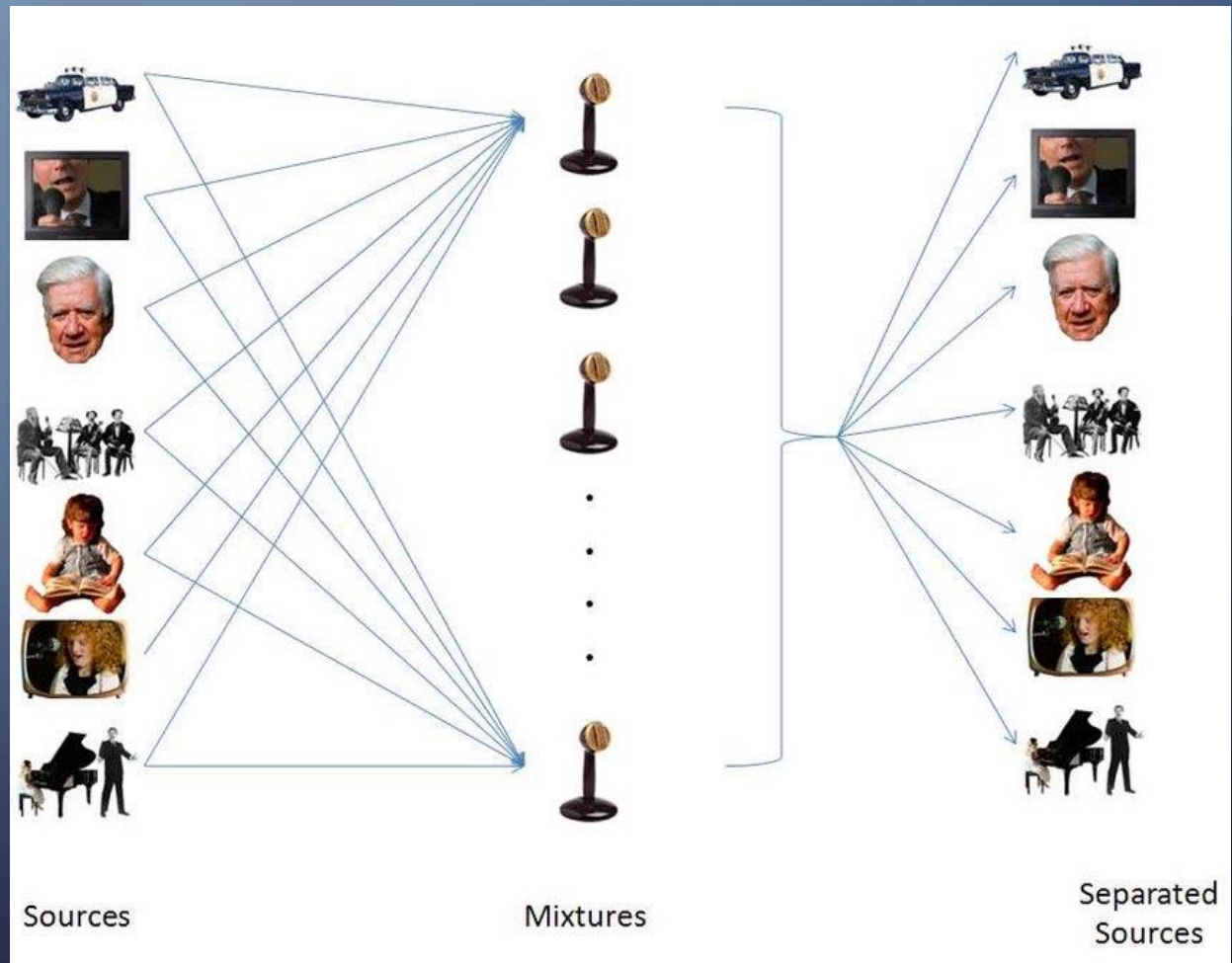
Tramite l'operazione di segmentazione le registrazioni vengono suddivise in epoche time-locked



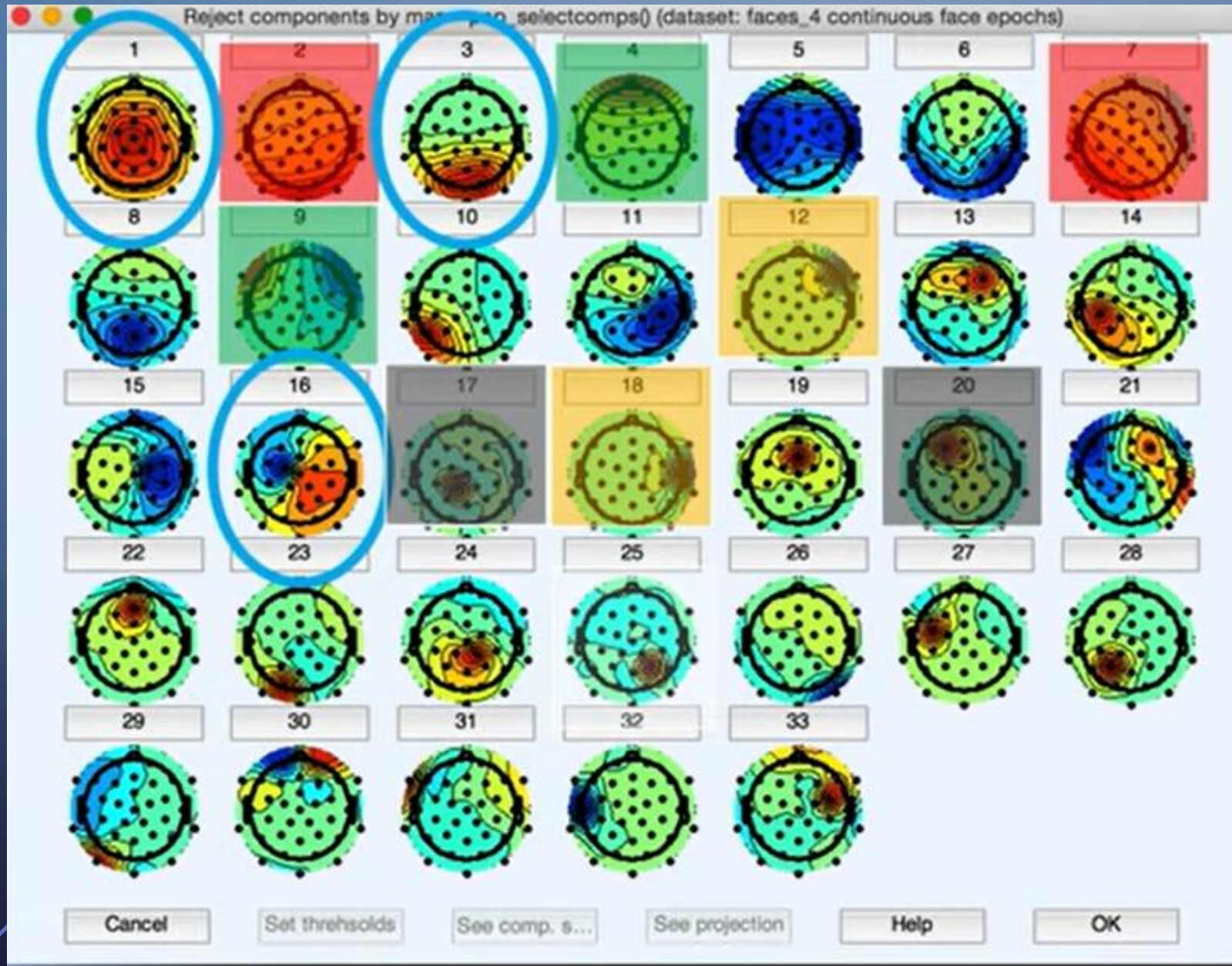
PRE-PROCESAMENTO

3. ANALISI DELLE COMPONENTI INDIPENDENTI (ICA)

Il metodo ICA risolve il problema della Blind Signal Separation (BSS) assumendo che i segnali siano una miscela lineare di sorgenti statisticamente indipendenti associate a diverse attività fisiologiche e artefatti.



PRE-PROCESSAMENTO



4. RIGETTO ARTEFATTI

OCCHI

MUSCOLI

BATTITO

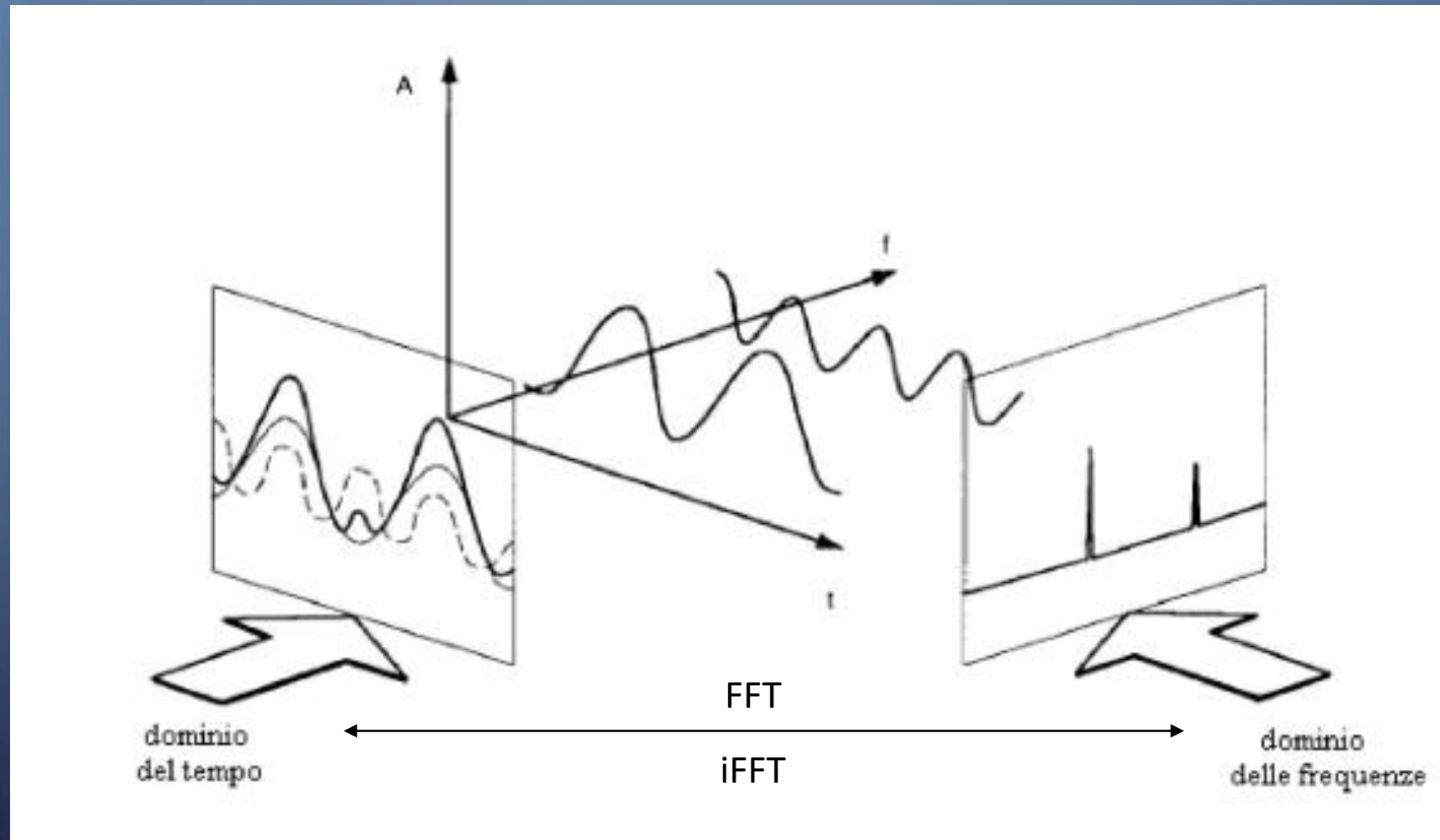
CARDIACO

BAD CHANNEL

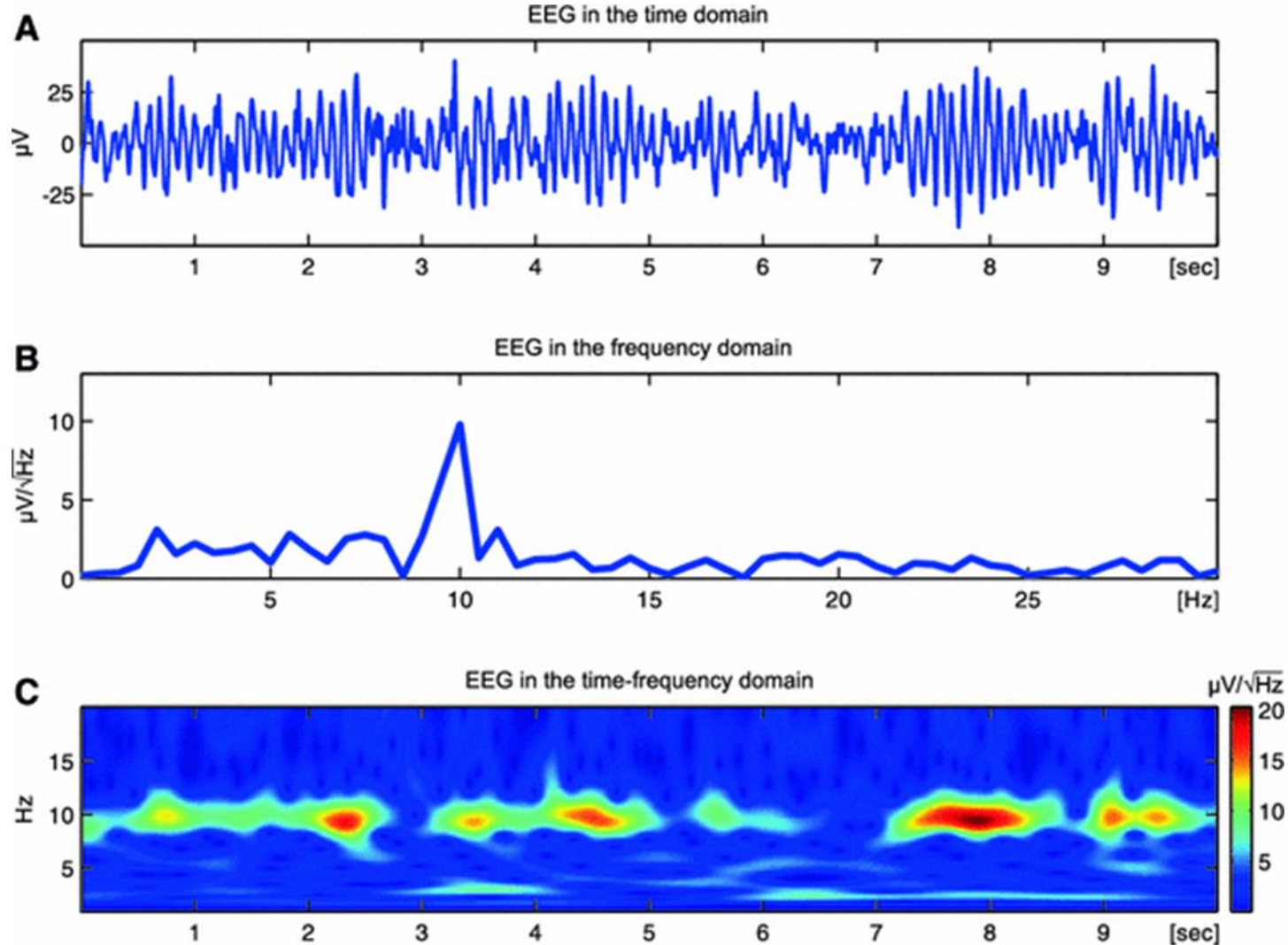
ATTIVITÀ

CEREBRALE

ANALISI DEL SEGNALE EEG

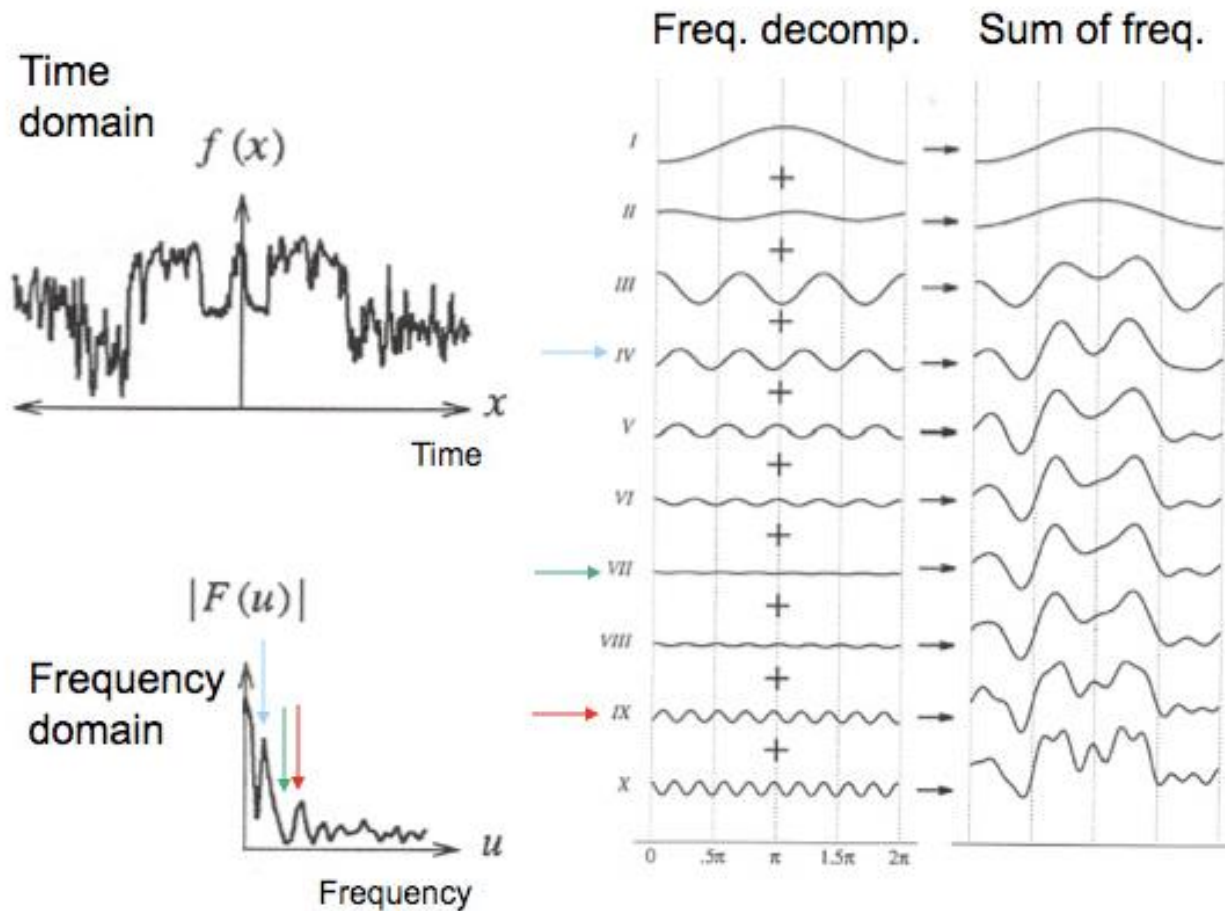


ANALISI DEL SEGNALE EEG

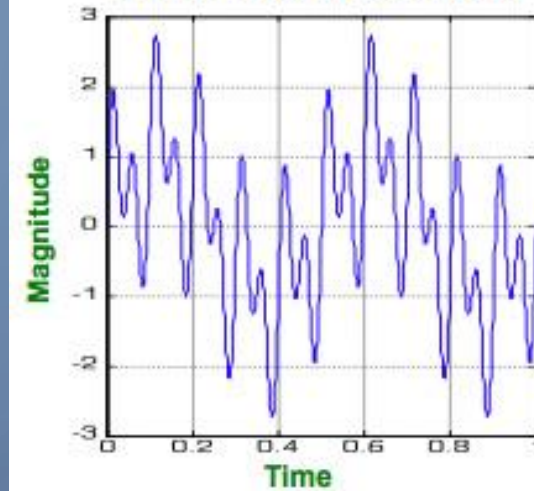


ANALISI DEL SEGNALE EEG

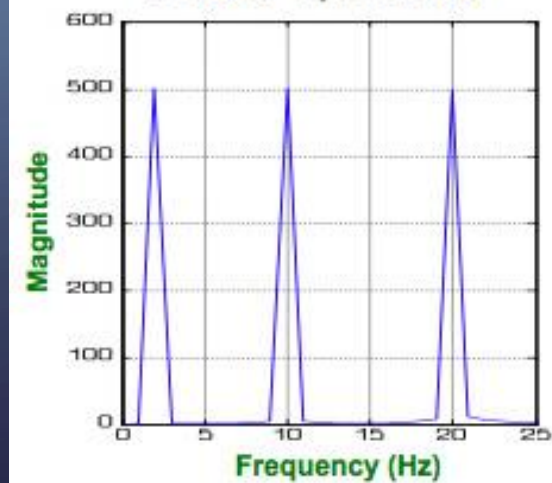
ANALISI SPETTRALE



2 Hz + 10 Hz + 20Hz



Power spectrum



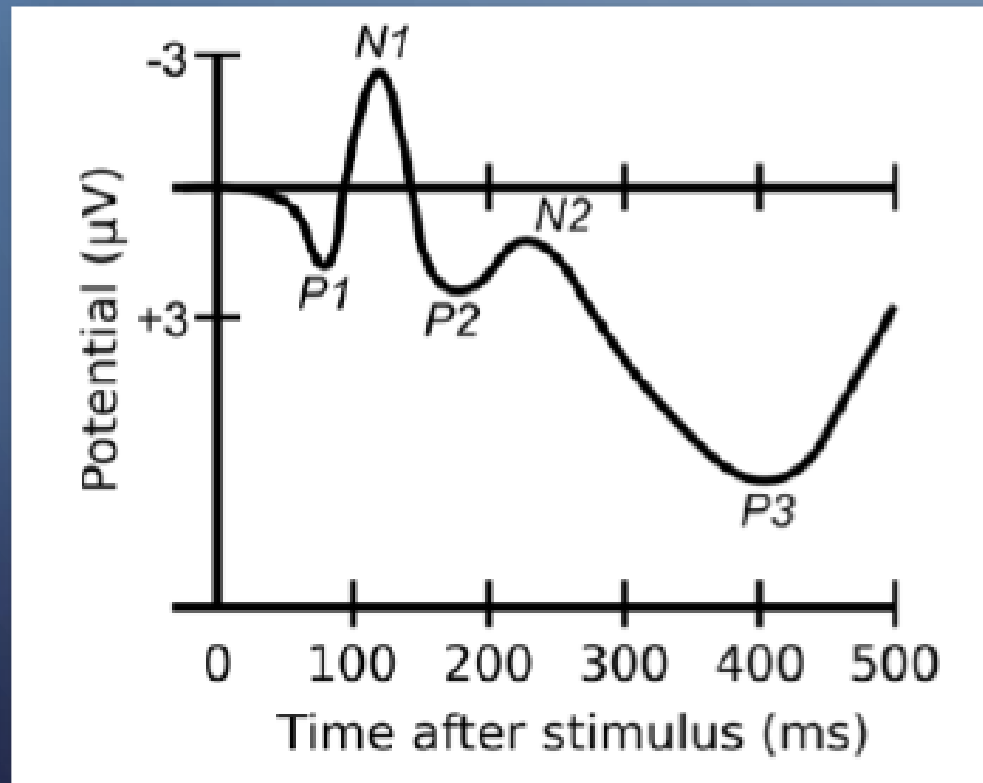


COME ANALIZZARE UN EEG?

TIPI DI ANALISI DEL SEGNALE EEG

ANALISI DEL SEGNALE EEG

POTENZIALI EVENTO-CORRELATI (ERP)



Polarità: positiva (P) o negativa (N).

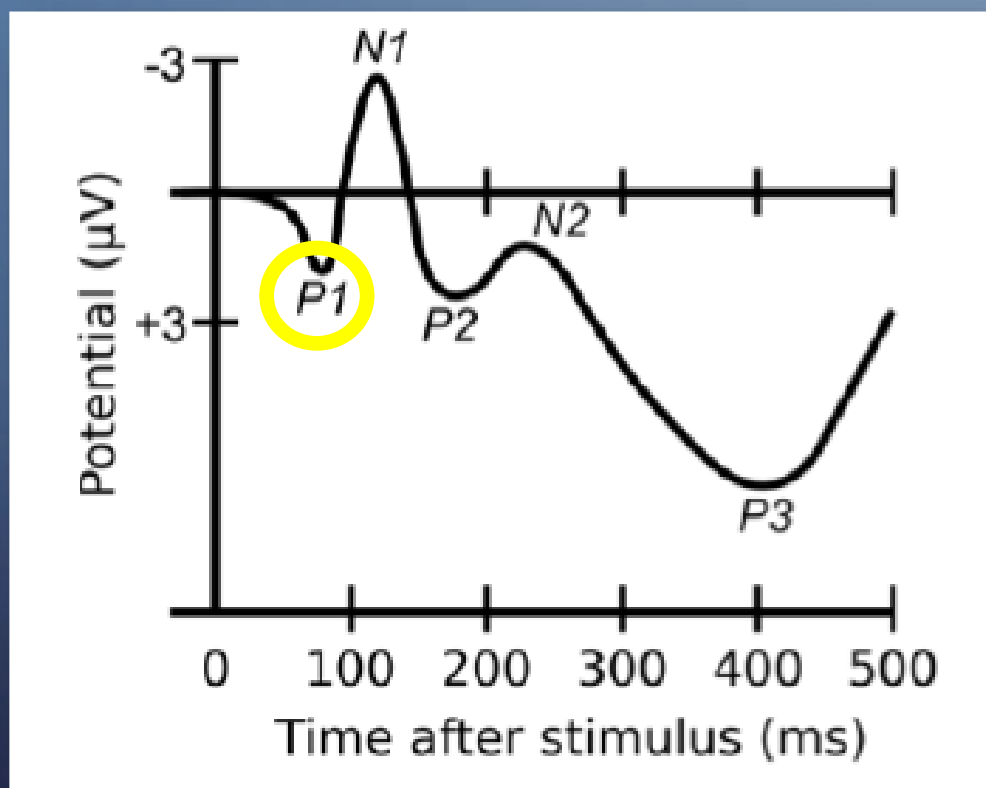
Latenza: distanza temporale tra la comparsa dello stimolo e della componente.

Topografia: posizione sullo scalpo in cui è registrabile la massima ampiezza della componente.

Ampiezza: intensità della componente rispetto ad un livello base di riferimento, detto **baseline**.

ANALISI DEL SEGNALE EEG

POTENZIALI EVENTO-CORRELATI (ERP)

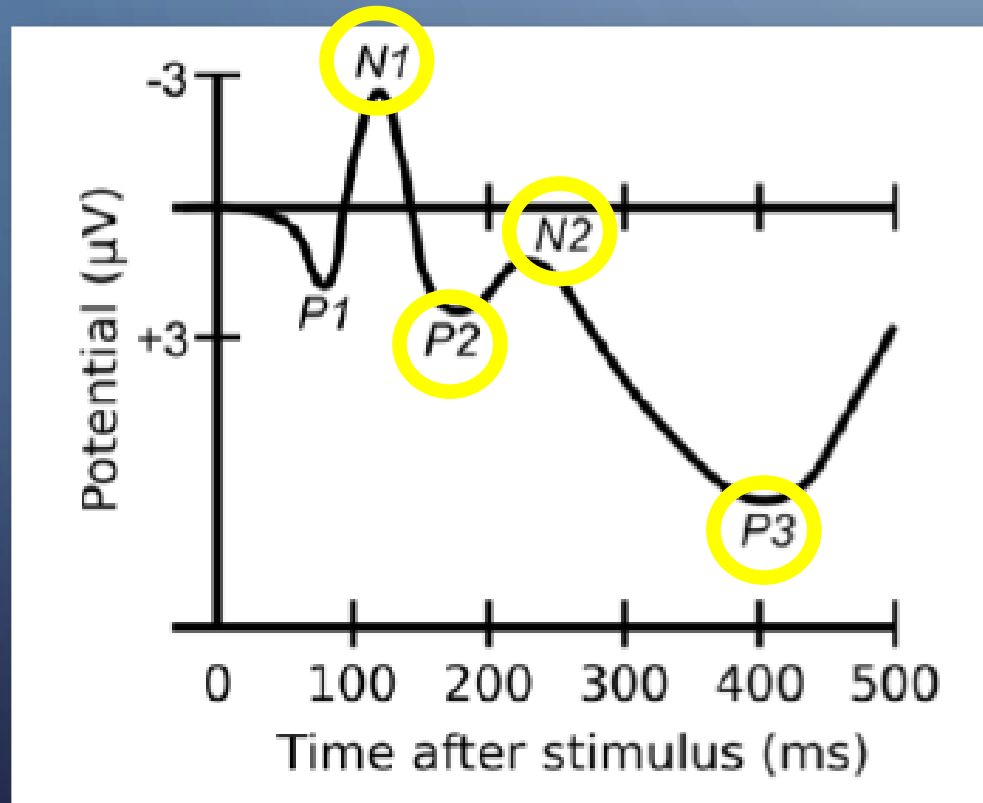


Componenti ESOGENE

- ✓ Si risolvono nei primi 100ms dalla comparsa di uno stimolo e riflettono le caratteristiche fisiche dello stimolo.
- ✓ Rappresentano l'attività evocata nelle vie e nei nuclei sensoriali del tronco cerebrale (potenziali evocati periferici) e riflettono le caratteristiche fisiche dello stimolo.
- ✓ Modificazioni, anche minime, degli ERP precoci sono segno di patologia nervosa (ad es, sclerosi multipla).

ANALISI DEL SEGNALE EEG

POTENZIALI EVENTO-CORRELATI (ERP)



Componenti ENDOGENE

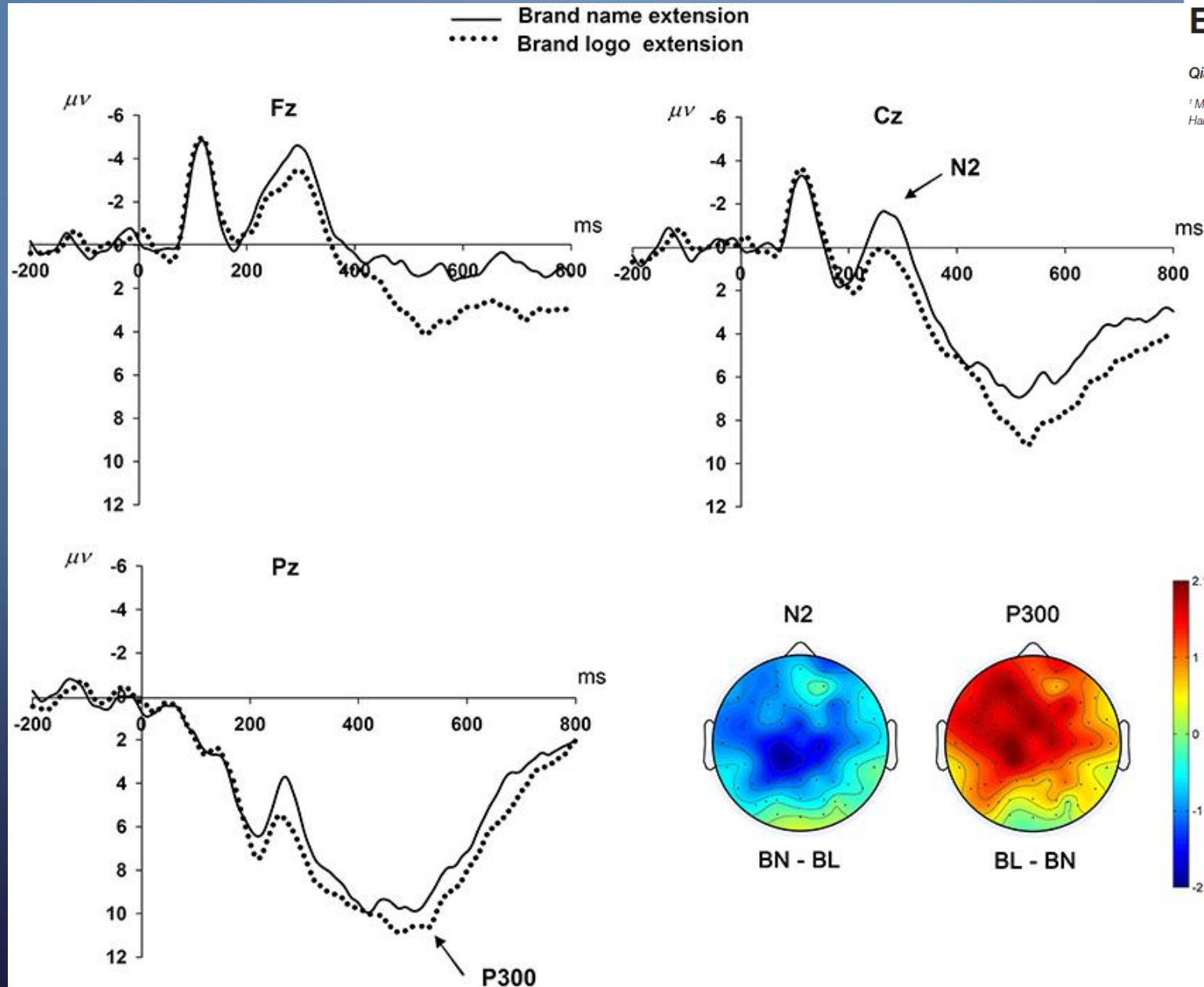
- ✓ Aumentano a partire da 100 ms dopo la comparsa dello stimolo.
- ✓ Riflettono l'elaborazione di una stimolazione e i processi cognitivi in atto.
- ✓ **P300** compare in risposta a stimoli rilevanti ma rari. Il classico paradigma sperimentale per evidenziarla è l'oddball, compito in cui il soggetto è istruito a rispondere al più raro di una serie di stimoli.

POTENZIALI EVENTO-CORRELATI (ERP)

Logo Effects on Brand Extension Evaluations from the Electrophysiological Perspective

Qian Shang¹, Guanxiong Pei², Shenyi Dai³ and Xiaoyi Wang^{2*}

¹ Management School, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou, China, ² School of Management, Zhejiang University, Hangzhou, China, ³ College of Economics and Management, China Jiliang University, Hangzhou, China



ERS (Event-Related Synchronization)



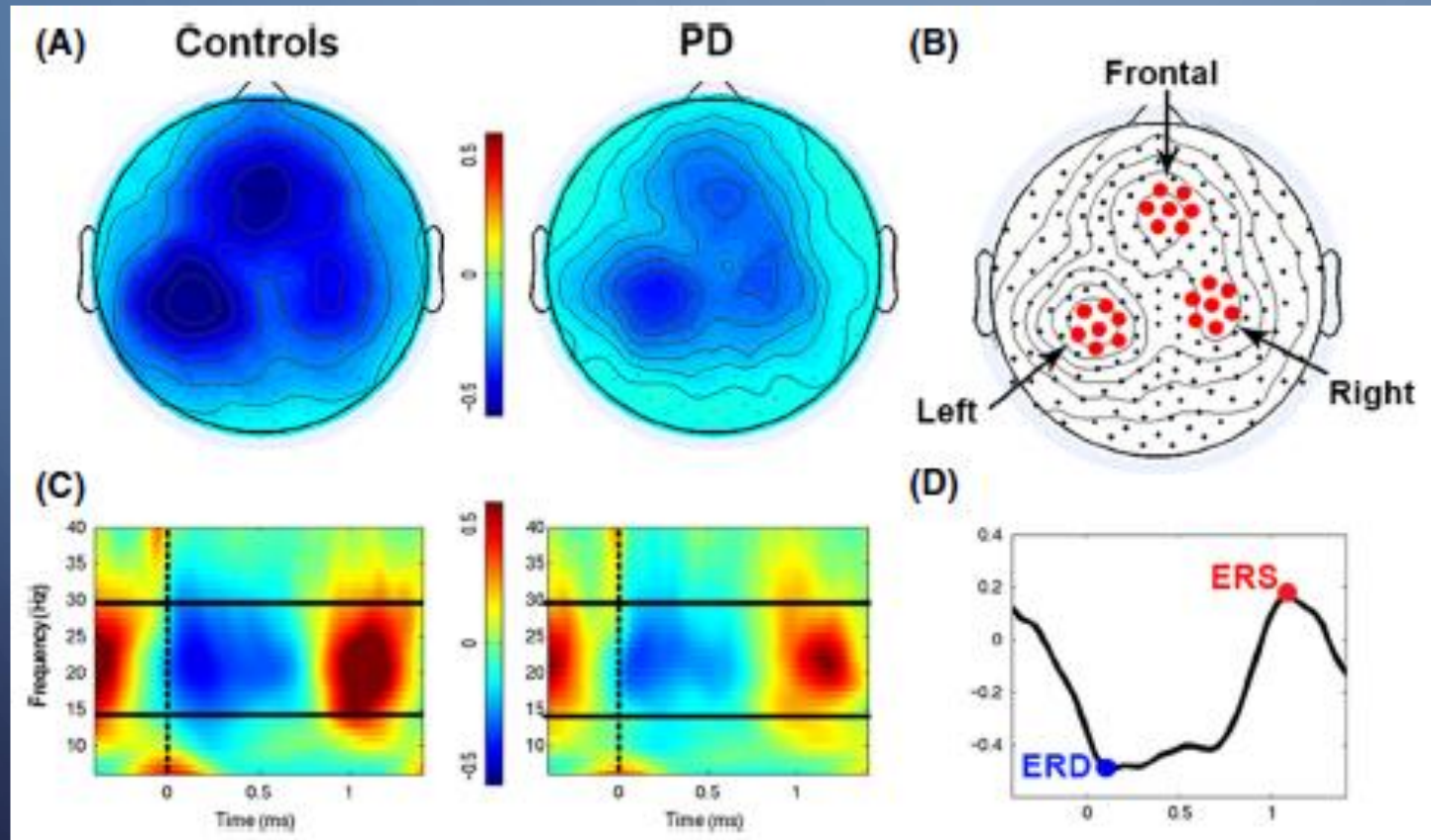
- ✓ ERD ed ERS consistono nella temporanea modulazione dell'attività oscillatoria dell'EEG e riflettono rispettivamente la desincronizzazione e sincronizzazione dell'attività di una popolazione di neuroni.
- ✓ Il significato funzionale dell'ERD/ERS dipende dalla banda si considera.
- ✓ I valori dell'ERD/ERS vengono espressi come variazione rispetto ad un intervallo di riferimento, detto baseline.

MODULAZIONI DEL SEGNALE (ERD/ERS)

Practice changes beta power at rest and its modulation during movement in healthy subjects but not in patients with Parkinson's disease

Clara Moisello¹, Daniella Blanco¹, Jing Lin¹, Priya Panday¹, Simon P. Kelly², Angelo Quartarone^{1,3,4}, Alessandro Di Rocco⁴, Chiara Cirelli⁵, Giulio Tononi⁵ & M. Felice Ghilardi^{1,4}

BETA MODULATION (ERD/ERS)



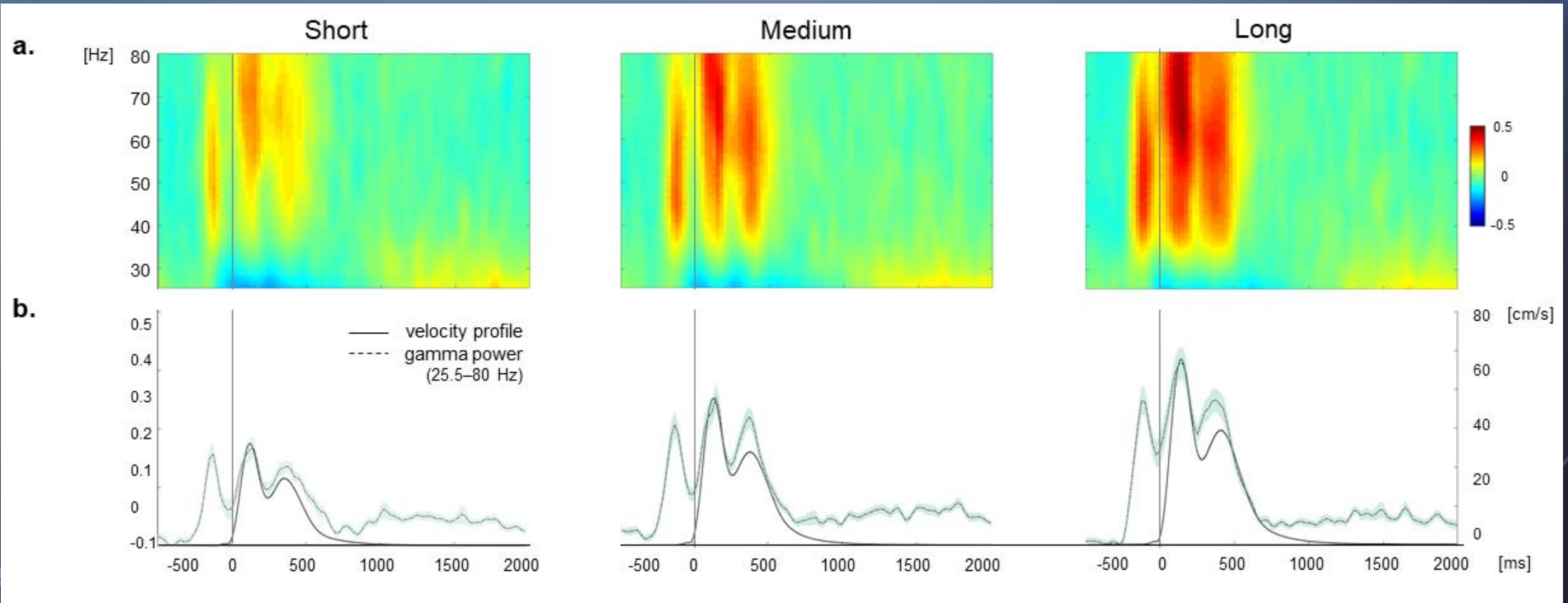
MODULAZIONI DEL SEGNALE (ERD/ERS)

Modulation of Gamma Spectral Amplitude and Connectivity During Reaching Predicts Peak Velocity and Movement Duration

Elisa Tatti^{1*}, Francesca Ferraloli¹, Alberto Cacciola², Cameron Chan¹, Angelo Quartarone² and Maria Felice Ghilardi^{1*}

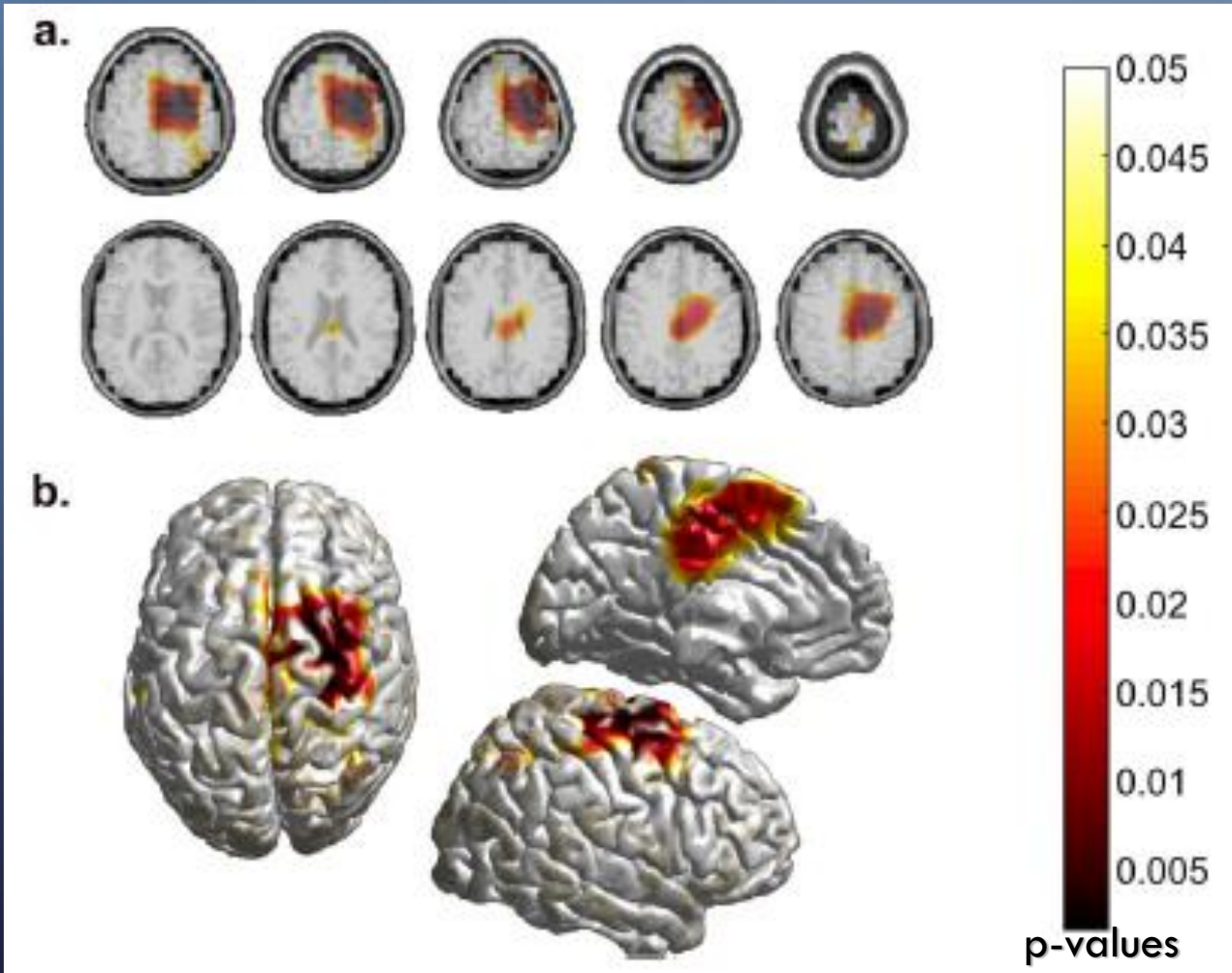
¹ Department of Molecular, Cellular and Biomedical Sciences, City University of New York (CUNY), School of Medicine, New York, NY, United States, ² Department of Biomedical, Dental Sciences and Morphological and Functional Images, University of Messina, Messina, Italy

GAMMA ERS



LOCALIZZAZIONE DEL SEGNALE

BETA ERS (POST MOVIMENTO)



scientific reports

Frontal increase of beta modulation during the practice of a motor task is enhanced by visuomotor learning

E. Tatti¹, F. Ferraioli¹, J. Peter¹, T. Alalade¹, A. B. Nelson¹, S. Ricci^{1,2}, A. Quartarone³ & M. F. Ghilardi¹

[illegible]

Referenze

- ❖ Ince, R., Adanır, S. S., & Sevmez, F. (2021). The inventor of electroencephalography (EEG): Hans Berger (1873–1941). *Child's Nervous System*, 37(9), 2723-2724.
- ❖ Pfurtscheller, G., & Aranibar, A. (1977). Event-related cortical desynchronization detected by power measurements of scalp EEG. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 42(6), 817-826.
- ❖ Jackson, A. F., & Bolger, D. J. (2014). The neurophysiological bases of EEG and EEG measurement: A review for the rest of us. *Psychophysiology*, 51(11), 1061-1071.
- ❖ Kilavik, B. E., Zaepffel, M., Brovelli, A., MacKay, W. A., & Riehle, A. (2013). The ups and downs of beta oscillations in sensorimotor cortex. *Experimental neurology*, 245, 15-26.
- ❖ Nowak, M., Zich, C., & Stagg, C. J. (2018). Motor cortical gamma oscillations: what have we learnt and where are we headed?. *Current behavioral neuroscience reports*, 5(2), 136-142.
- ❖ O'Keefe, J., & Burgess, N. (1999). Theta activity, virtual navigation and the human hippocampus. *Trends in cognitive sciences*, 3(11), 403-406.
- ❖ Hughes, JR (1964). "Responses from the Visual Cortex of Unanesthetized Monkeys". *International Review of Neurobiology*. Vol. 7. pp. 99–152. doi:10.1016/s0074-7742(08)60266-4. ISBN 9780123668073. PMID 14282370.
- ❖ Tononi, G., & Cirelli, C. (2006). Sleep function and synaptic homeostasis. *Sleep medicine reviews*, 10(1), 49-62.

Referenze

- ❖ Perfetti, B., Moisello, C., Landsness, E. C., Kvint, S., Lanza fame, S., Onofri, M., ... & Ghilardi, M. F. (2011). Modulation of gamma and theta spectral amplitude and phase synchronization is associated with the development of visuo-motor learning. *Journal of Neuroscience*, 31(41), 14810-14819.
- ❖ M. Fabiani, G. Gratton, and M. Coles, "Event-related brain potentials: Methods, theory," *Handbook of psychophysiology*, pp. 53–84, 2000.
- ❖ Moisello, C., Blanco, D., Lin, J., Panday, P., Kelly, S. P., Quartarone, A., ... & Ghilardi, M. F. (2015). Practice changes beta power at rest and its modulation during movement in healthy subjects but not in patients with Parkinson's disease. *Brain and behavior*, 5(10), e00374..
- ❖ Cohen, M. X. (2014). *Analyzing neural time series data: theory and practice*. MIT press.
- ❖ <https://eeglab.org/tutorials>
- ❖ Tatti, E., Ferraioli, F., Peter, J., Alalade, T., Nelson, A. B., Ricci, S., ... & Ghilardi, M. F. (2021). Frontal increase of beta modulation during the practice of a motor task is enhanced by visuomotor learning. *Scientific reports*, 11(1), 1-14.
- ❖ Tatti, E., Ferraioli, F., Cacciola, A., Chan, C., Quartarone, A., & Ghilardi, M. F. (2022). Modulation of gamma spectral amplitude and connectivity during reaching predicts peak velocity and movement duration. *Front. Neurosci.* 16:836703.