Universitá degli Studi di Milano-Bicocca
Dipartimento di Informatica Sistemistica e Comunicazione
Corso di Laurea Magistrale in Informatica

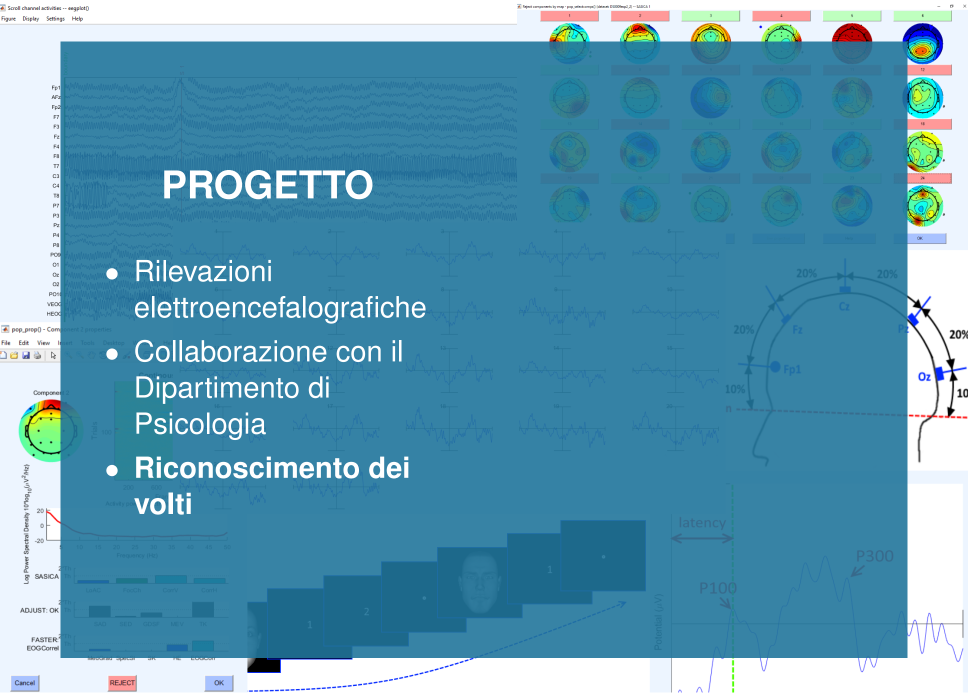
Elaborazione ed Analisi di Dati Elettrofisiologici

Relatore: Prof.ssa Francesca Gasparini

Co-relatori: Dott.ssa Silvia Elena Corchs
Dott. Alessio Pietro Facchin

Tesi di Laurea Magistrale di:
Aurora Saibene
Matricola 746523

Anno Accademico 2016-2017



PROGETTO

- Rilevazioni elettroencefalografiche
- Collaborazione con il Dipartimento di Psicologia
- **Riconoscimento dei volti**

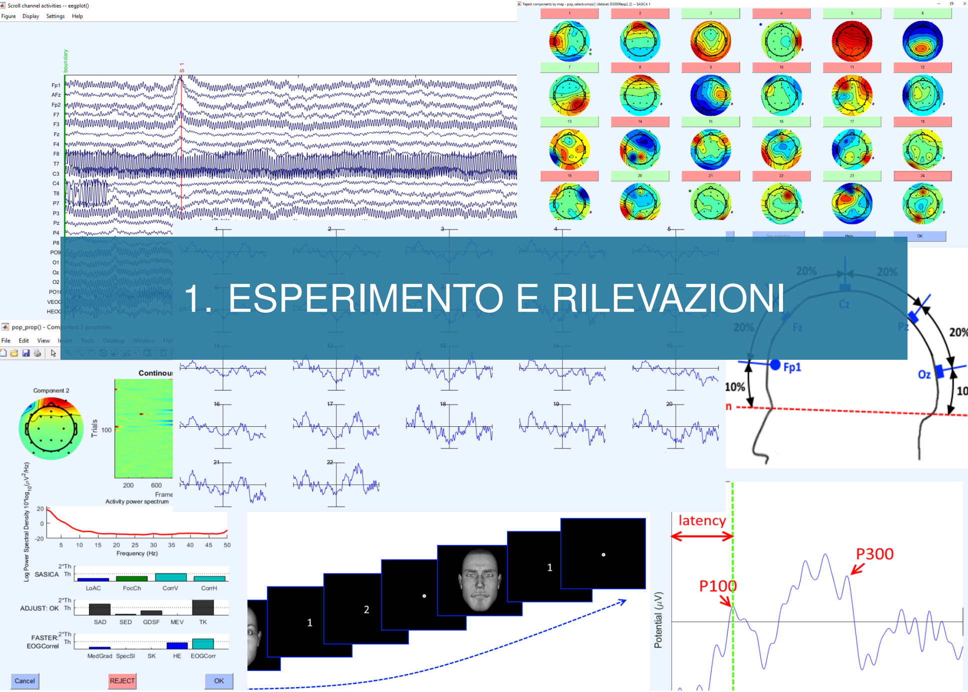
PROGETTO

- Rilevazioni elettroencefalografiche
- Collaborazione con il Dipartimento di Psicologia
- **Riconoscimento dei volti**

LAVORO SVOLTO

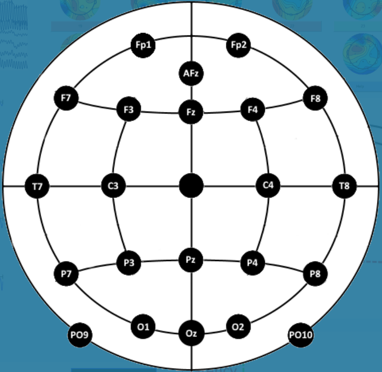
1. Esperimento e rilevazioni
2. Elaborazione del segnale
3. Analisi dei Potenziali Evento-Correlati
4. Analisi statistica del segnale

1. ESPERIMENTO E RILEVAZIONI



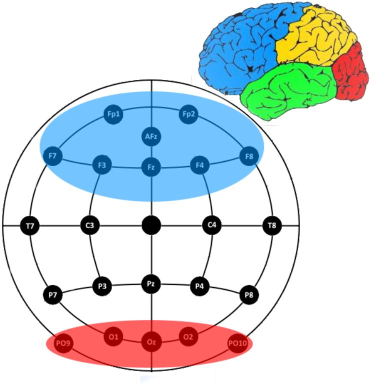
Elettroencefalogramma

- **Analisi di 24 elettrodi posizionati sullo scalpo**
- Corrispondenza della posizione degli elettrodi sui lobi
- Segnale multi-canale dell'attività cerebrale
- Ritmi corrispondenti a bande di frequenza: segnali spontanei
- Potenziali evento-correlati: segnali evocati



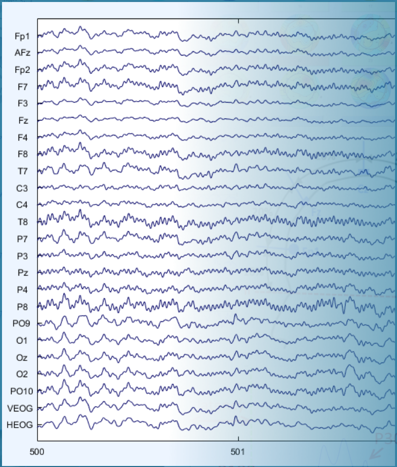
Elettroencefalogramma

- Analisi di 24 elettrodi posizionati sullo scalpo
- **Corrispondenza della posizione degli elettrodi sui lobi**
- Segnale multi-canale dell'attività cerebrale
- Ritmi corrispondenti a bande di frequenza: segnali spontanei
- Potenziali evento-correlati: segnali evocati



Elettroencefalogramma

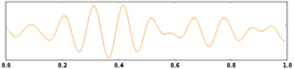
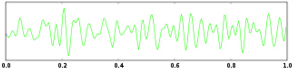
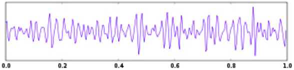
- Analisi di 24 elettrodi posizionati sullo scalpo
- Corrispondenza della posizione degli elettrodi sui lobi
- **Segnale multi-canale dell’attività cerebrale**
- Ritmi corrispondenti a bande di frequenza: segnali spontanei
- Potenziali evento-correlati: segnali evocati



Elettroencefalogramma

- Analisi di 24 elettrodi posizionati sullo scalpo
- Corrispondenza della posizione degli elettrodi sui lobi
- Segnale multi-canale dell'attività cerebrale

- **Ritmi corrispondenti a bande di frequenza: segnali spontanei**
- **Potenziali evento-correlati: segnali evocati**

Ritmo	Forma d'onda	Frequenze	Presenza
Alfa		8 - 13 Hz	Veglia rilassata
Beta		13 - 30 Hz	Veglia attenta
Gamma		30 - 100 Hz	Problem Solving

Esperimento

- **Rilevazioni su 20 volontari**
- **Preparazione: posizionamento elettrodi e calcolo dell'impedenza**
- Presentazione stimoli: comparsa di volti

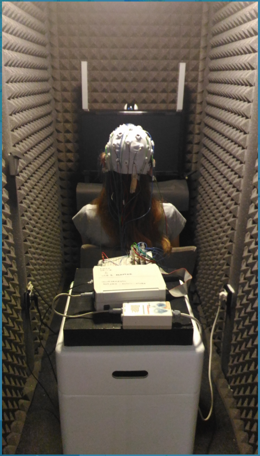
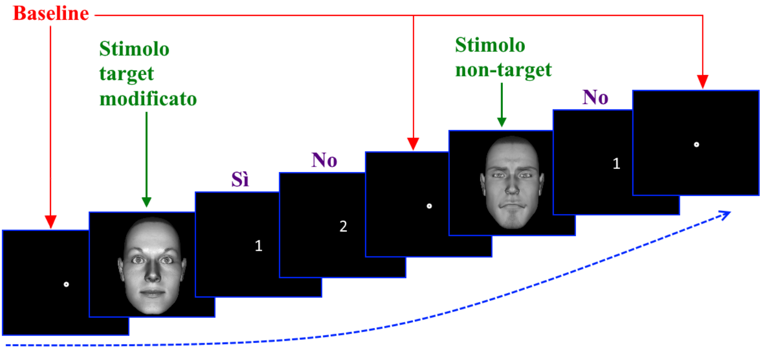


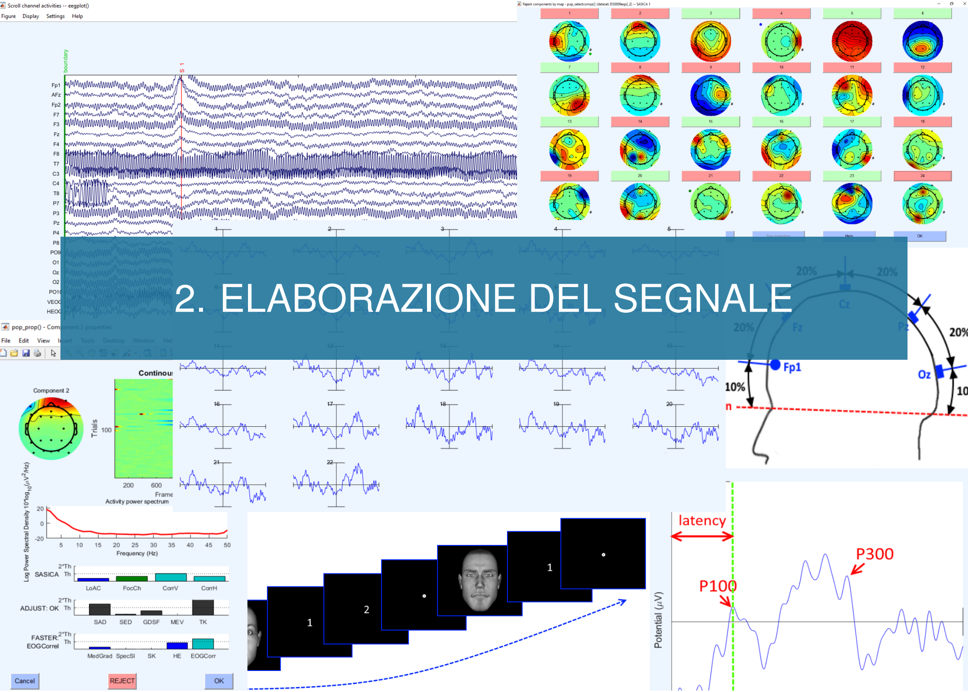
Immagine scattata su gentile concessione della volontaria e della responsabile del laboratorio.

Esperimento

- Rilevazioni su 20 volontari
- Preparazione: posizionamento elettrodi e calcolo dell'impedenza
- **Presentazione stimoli: comparsa di volti e task**
  1. Il volto è target (riconoscimento identità)?
  2. Se 1 = sì, il volto è uguale (riconoscimento modifica)?

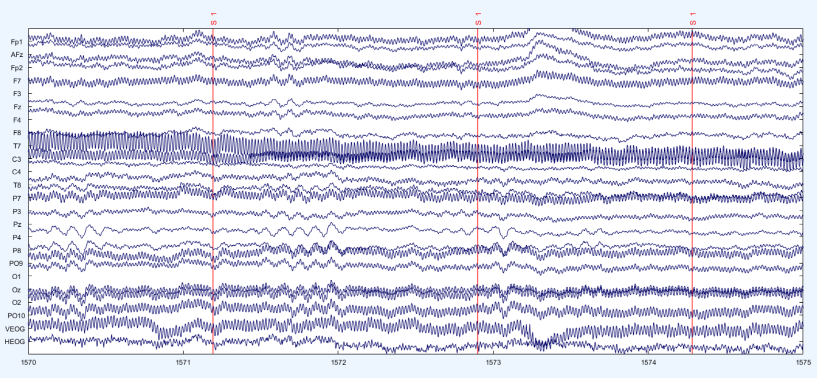


2. ELABORAZIONE DEL SEGNALE



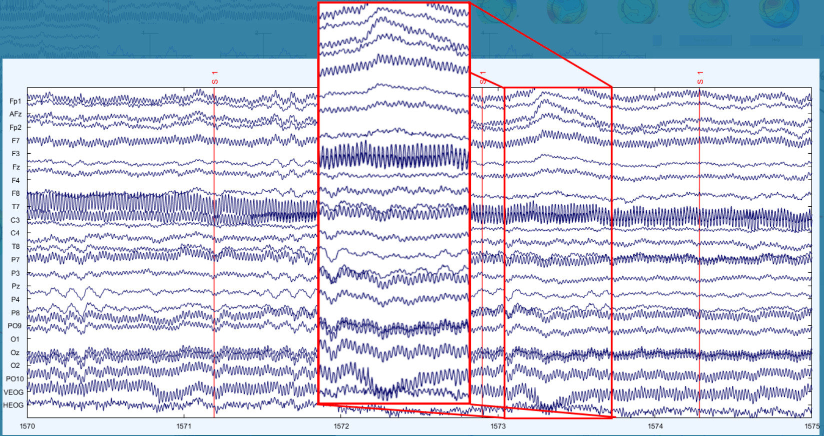
Analisi preliminare

- Utilizzo di EEGLAB tool MATLAB per l'analisi di EEG e stesura codice MATLAB personalizzato
- Calcolo accuratezza risposte: ground truth
- Segnale rumoroso



Analisi preliminare

- Calcolo accuratezza risposte: ground truth
- Segnale rumoroso: **eye blink, rumore muscolare ...**



Rimozione del rumore

- **Filtro Finite Impulse Response (FIR) sinc con finestra di Hamming: 1 - 50Hz**

sinc

$$f(n) = \frac{sin(2\pi f_c n)}{n\pi}$$

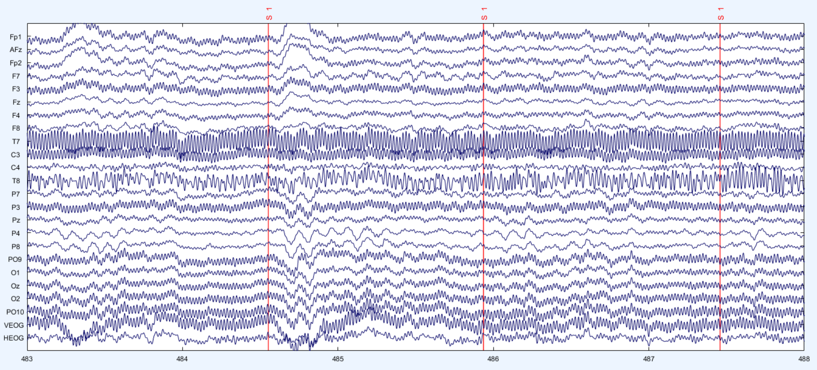
finestra di Hamming

$$p(n) = 0.54 - 0.46\cos\left(\frac{2\pi n}{M-1}\right), 0 \leq n \leq M-1$$

$$p(n) = 0, altrimenti$$

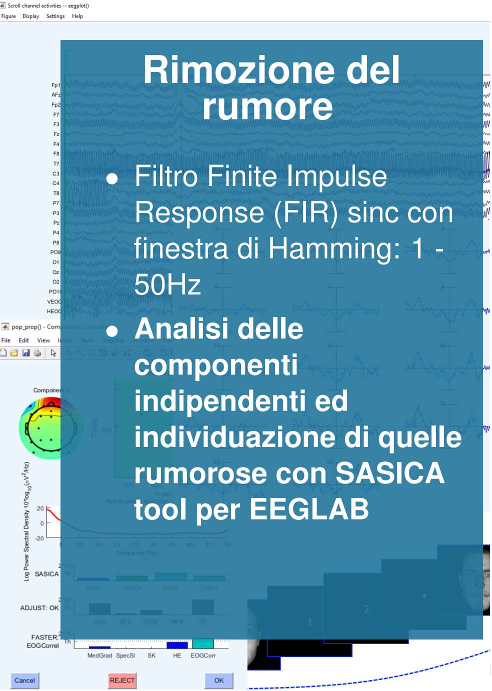
Rimozione del rumore

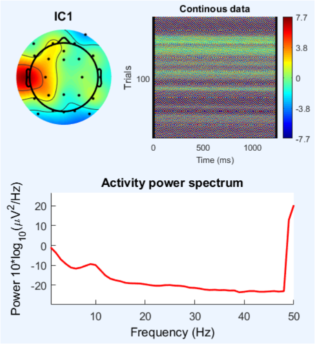
- **Filtro Finite Impulse Response (FIR) sinc con finestra di Hamming: 1 - 50Hz**

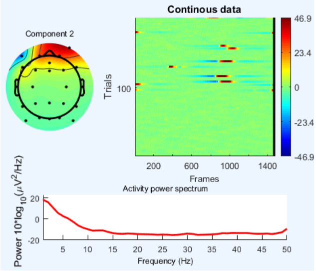


Rimozione del rumore

- Filtro Finite Impulse Response (FIR) sinc con finestra di Hamming: 1 - 50Hz
- **Analisi delle componenti indipendenti ed individuazione di quelle rumorose con SASICA tool per EEGLAB**

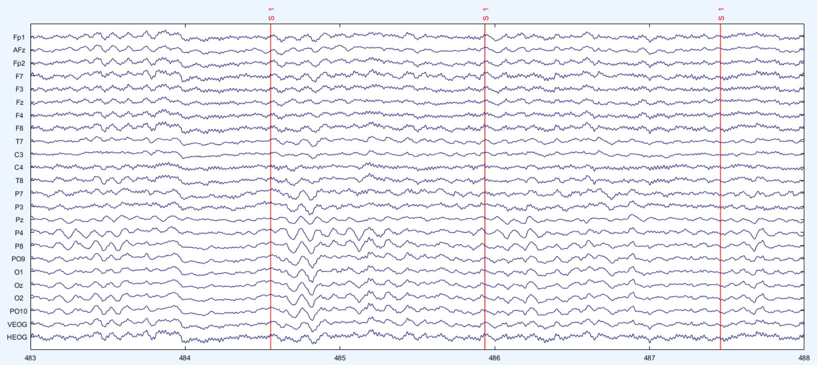




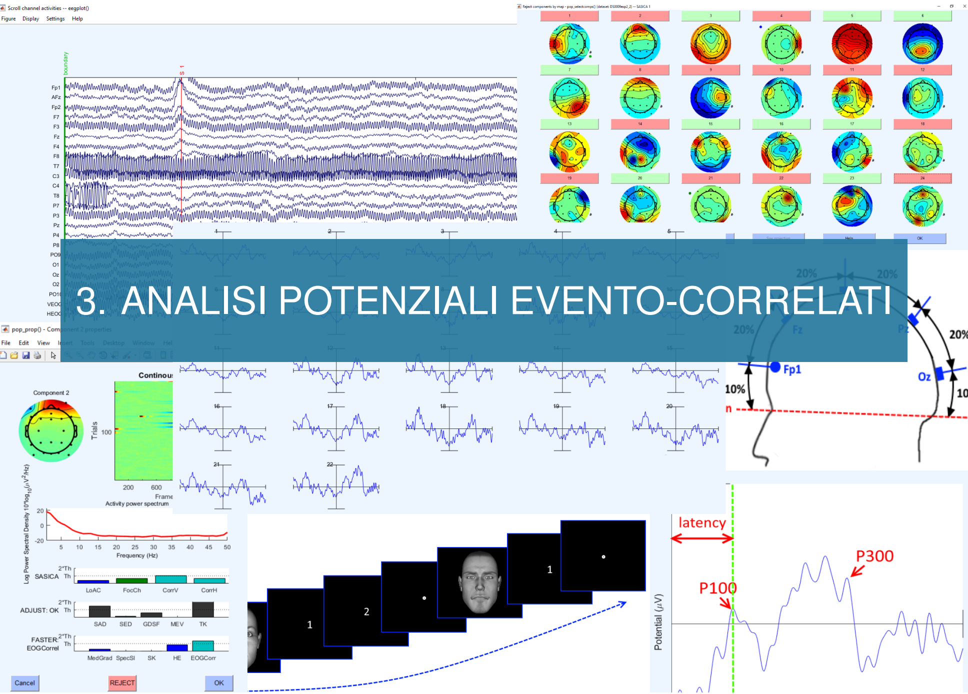


Rimozione del rumore

- Efficienza della procedura: mantenimento medio del 90% del segnale

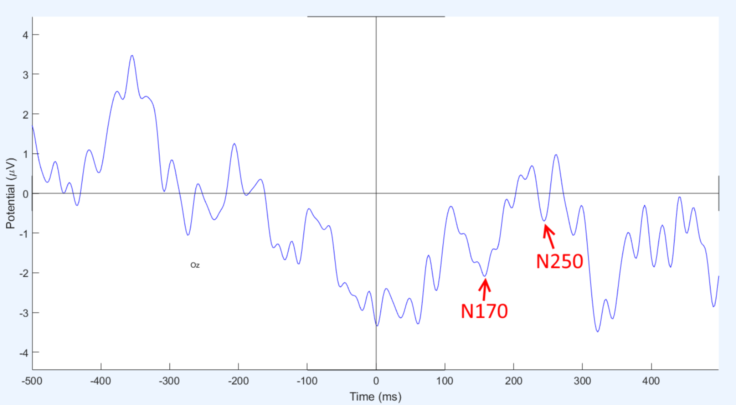


3. ANALISI POTENZIALI EVENTO-CORRELATI

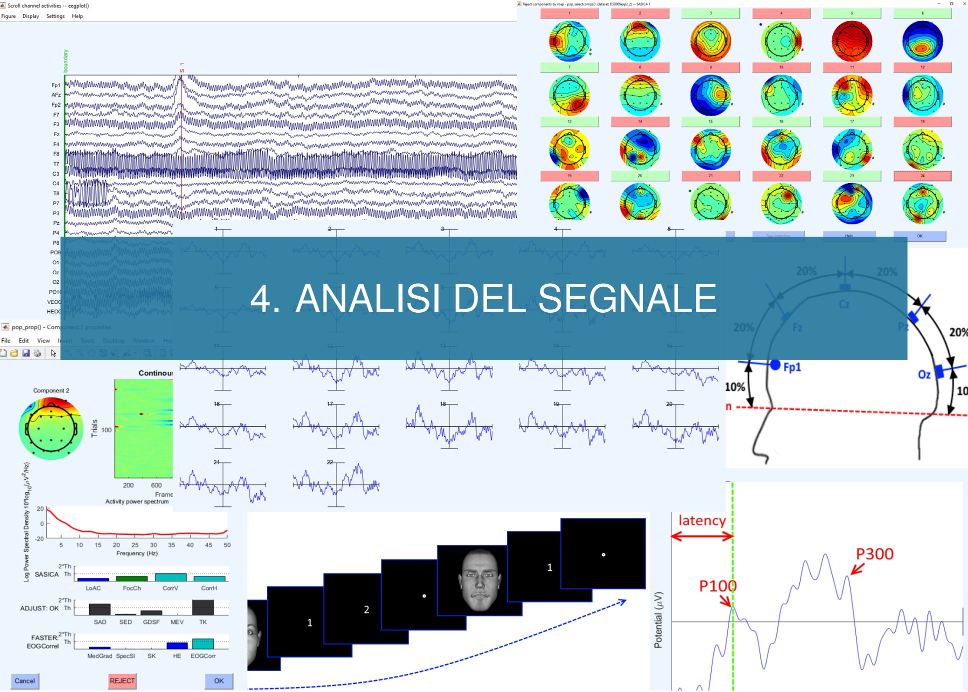


Componenti

- Ad ogni tipologia di risposta corrisponde un evento
- Indagine sulla presenza di attività cognitive (componenti) derivanti dal riconoscimento di volti
- Componenti verificate nei lobi corretti

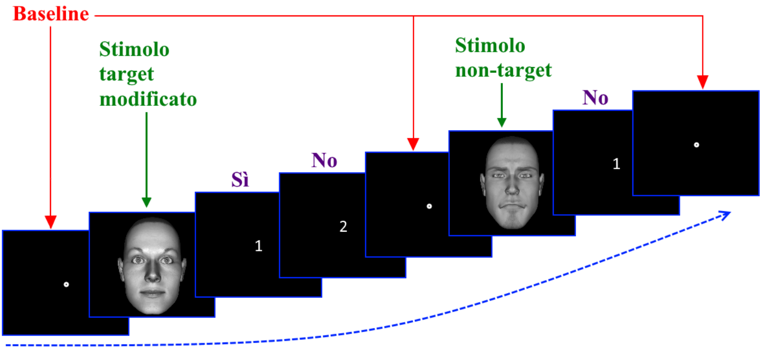


4. ANALISI DEL SEGNALE



Densità spettrale di potenza

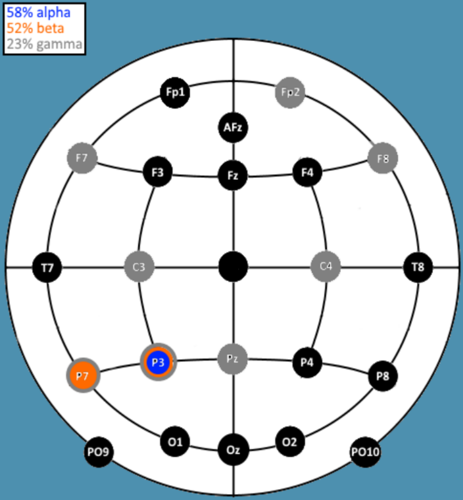
- **Ricerca della variabilità nelle attivazioni cerebrali**
- **Calcolo densità spettrale di potenza (PSD) con il metodo di Welch**
- Analisi della varianza attraverso one-way ANOVA: variabilità tra PSD stimata per baseline e stimolo in una stessa condizione

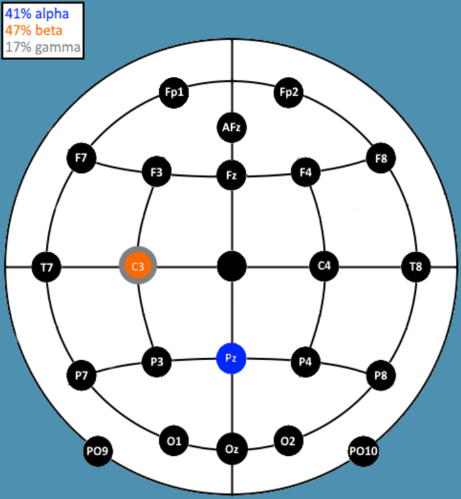


Analisi della varianza

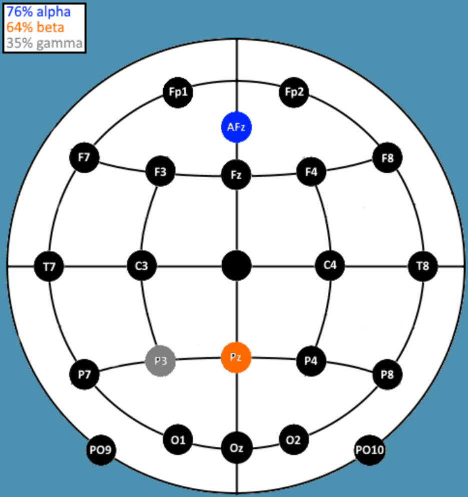
- Ricerca della variabilità nelle attivazioni cerebrali
- Calcolo densità spettrale di potenza (PSD) con il metodo di Welch
- **Analisi della varianza attraverso one-way ANOVA: variabilità tra PSD stimata per baseline e stimolo in una stessa condizione**
- **Estrazione p-value con livello di significatività minore di 0.01 e 0.05**
- **Calcolo della percentuale di soggetti che per ogni banda ed ogni elettrodo hanno una variabilità tra PSD stimate conforme al livello di significatività**

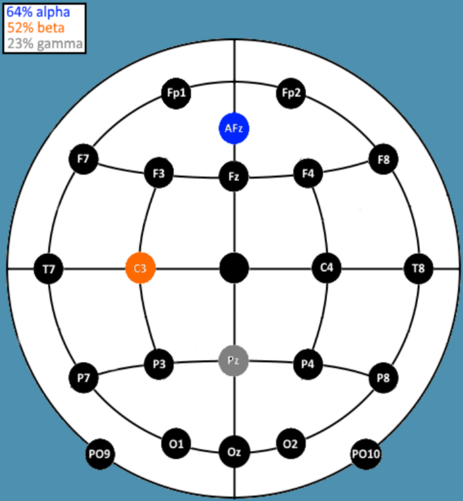
Corretto riconoscimento del target: percentuale soggetti con variabilità conformi ai livelli di significatività 0.05 (sinistra) e 0.01 (destra)



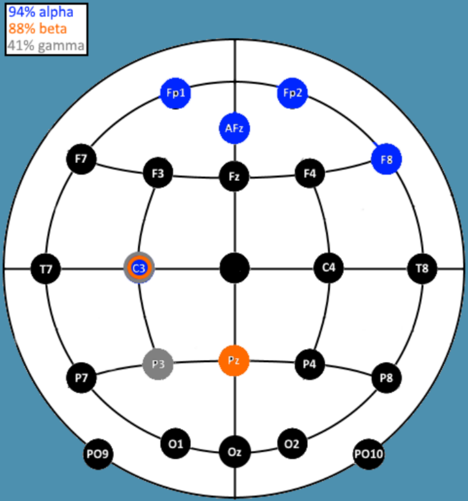


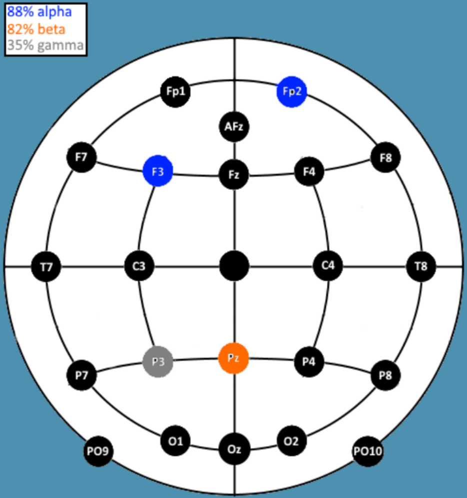
Corretto riconoscimento delle modifiche sul target: percentuale soggetti con variabilità conformi ai livelli di significatività 0.05 (sinistra) e 0.01 (destra)



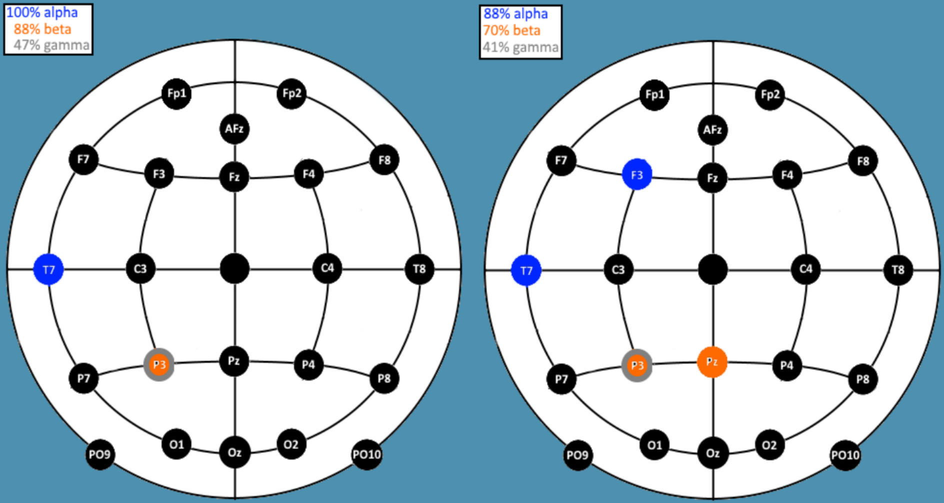


Corretto riconoscimento non-target: percentuale soggetti con variabilità conformi ai livelli di significatività 0.05 (sinistra) e 0.01 (destra)

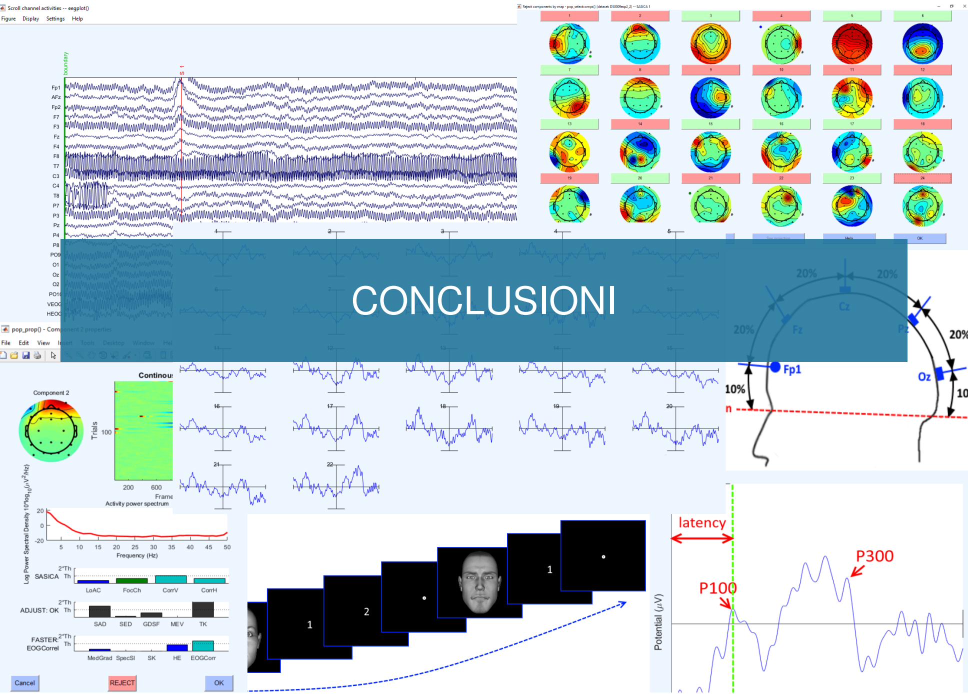


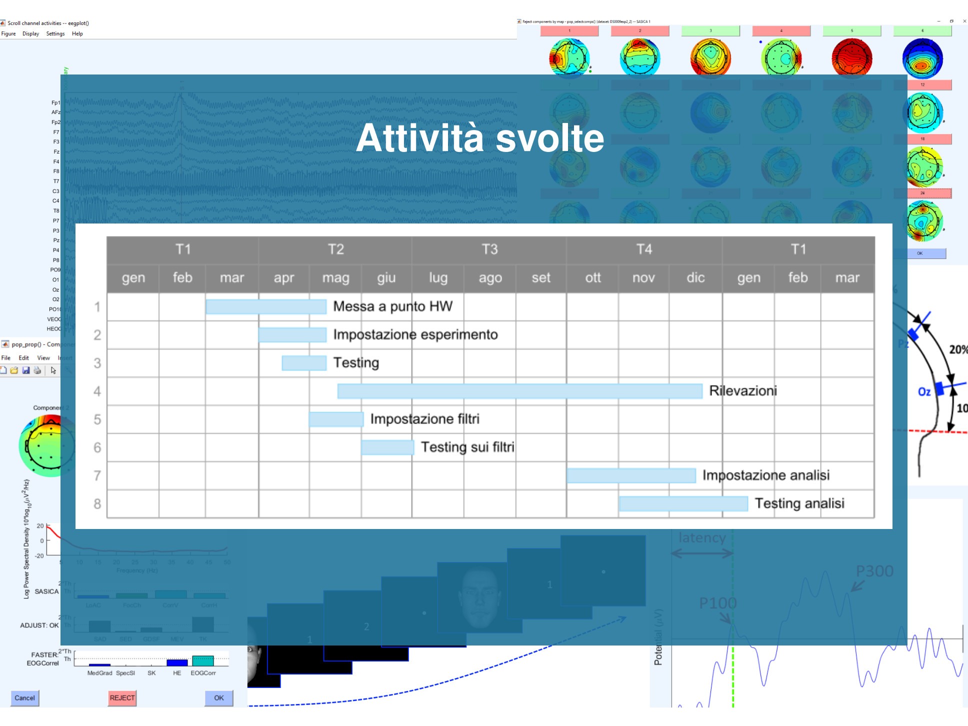


Errore: percentuale soggetti con variabilità conformi ai livelli di significatività 0.05 (sinistra) e 0.01 (destra)



CONCLUSIONI



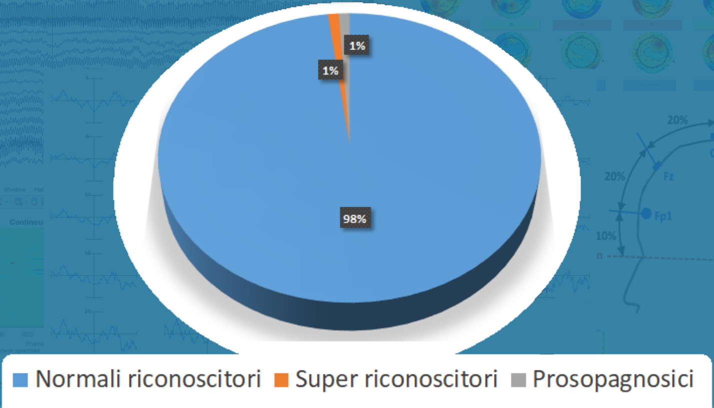


Attività svolte

	T1			T2			T3			T4			T1		
	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar
1					Messa a punto HW										
2					Impostazione esperimento										
3					Testing										
4												Rilevazioni			
5						Impostazione filtri									
6							Testing sui filtri								
7												Impostazione analisi			
8													Testing analisi		

Sviluppi futuri

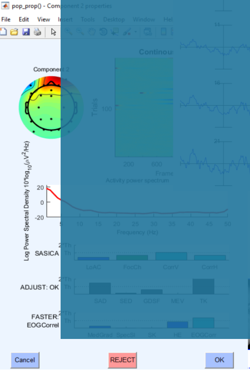
- Condurre l'esperimento su soggetti prosopagnosici

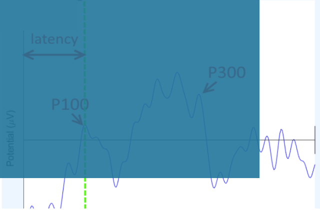


Dati riportati sull'articolo 'Why can't I recognize people? Prosopagnosia disorder makes people 'face blind" - BusinessInsider - 10/02/2017

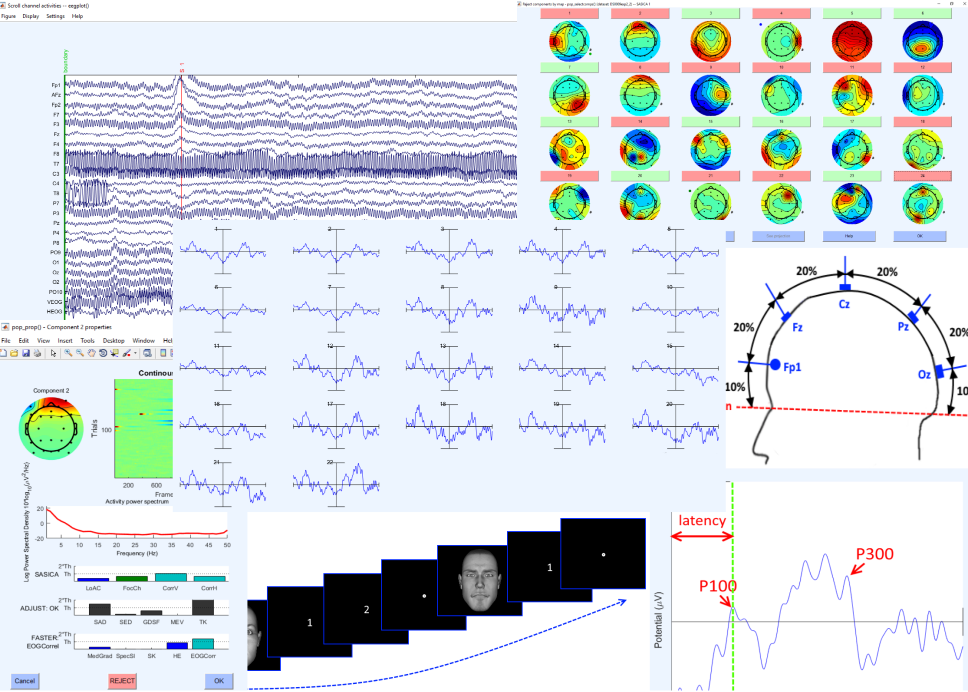
Sviluppi futuri

- Condurre l'esperimento su soggetti prosopagnosici
- Normalizzazione dei dati per confronto tra due popolazioni
  - Sulla potenza - difficile a causa della presenza di rumore a-specifico
  - Z-score - usato principalmente in esperimenti a riposo






GRAZIE PER L’ATTENZIONE
Scroll channel activities -- eegplot()
Figure Display Settings Help
pop_prop() - Component 2 properties
File Edit View Insert Tools Desktop Window
Component 2
Trials
Activity power spectrum
Log Power Spectral Density $10*\log_{10}(\mu V^2/Hz)$
Frequency (Hz)
SASICA
LoAC
FocCh
CorrV
CorrH
ADJUST: OK
SAD
SED
GDSF
MEV
TK
FASTER: EOGCorrel
MedGrad
SpecSl
SK
HE
EOGCorr
Cancel
REJECT
OK
20%
20%
20%
10%
10%
Cz
Fz
Pz
Fp1
Oz
latency
P300
P100
Potential (μV)



Scroll channel activities -- eegplot()
Figure Display Settings Help
boundary
S 1
Fp1
AFz
Fp2
F7
F3
Fz
F4
F8
T7
C3
C4
T8
P7
P3
Pz
P4
P8
PO9
O1
Oz
O2
PO10
VEOG
HEOG
pop_prop() - Component 2 properties
File Edit View Insert Tools Desktop Window
Component 2
Trials
Frame
Activity power spectrum
Log Power Spectral Density 10*log10(µV²/Hz)
Frequency (Hz)
SASICA
LoAC
FocCh
CorrV
CorrH
ADJUST: OK
SAD
SED
GDSF
MEV
TK
FASTER:
EOGCorrel
MedGrad
SpecSl
SK
HE
EOGCorr
Cancel
REJECT
OK
See projection
Help
OK
20%
20%
Cz
20%
Fz
Pz
20%
Fp1
Oz
10%
10
latency
P300
P100
Potential (µV)

[1] Normalization of resting EEG data for comparisons between..., 2013-2018 (accessed February 02, 2018). https://www.researchgate.net/post/Normalization_of_resting_EEG_data_for_comparisons_between_different_subjects.

[2] EEGLAB Extensions - SCCN, 2014 (accessed January 03, 2018). https://sccn.ucsd.edu/wiki/EEGLAB_Extensions.

[3] EEGLAB Plugins - SCCN, 2016 (accessed January 03, 2018). https://sccn.ucsd.edu/wiki/EEGLAB_Plugins.

[4] GIMP - GNU Image Manipulation Program, 2017 (accessed December 30, 2017). https://www.gimp.org/.

[5] MATLAB - MathWorks, 2017 (accessed December 30, 2017). https://www.mathworks.com/products/matlab.html.

[6] Swartz Center for Computational Neuroscience, 2017 (accessed December 30, 2017). https://sccn.ucsd.edu/eeglab/index.php.

[7] Brain Products - Solutions for neurophysiological research, 2017 (accessed September 22, 2017). http://www.brainproducts.com/index.php.

[8] OpenSesame // OpenSesame documentation, 2017 (accessed September 29, 2017). http://osdoc.cogsci.nl/3.1/.

[9] Visual Paradigm - Leading UML, BPMN, EA, Agile and Project Management Software, 2018 (accessed January 03, 2018). https://www.visual-paradigm.com/.

[10] One-Way ANOVA - MATLAB & Simulink - MathWorks Italia, 2018 (accessed January 23, 2018). https://it.mathworks.com/help/stats/one-way-anova.html.

[11] 10.Potenziali evocati e EEG — Centro di Ricerca Enrico Piaggio, 2018 (accessed January 28, 2018). http://www.centropiaggio.unipi.it/course/material/10potenziali-evocati-e-eeg.html.

[12] Why can't I recognize people? Prosopagnosia disorder makes people 'face blind' - Business Insider, February 03, 2017 (accessed February 02, 2018). http://www.businessinsider.com/someone-who-cant-remember-faces-merriam-webster-2017-2?IR=T.

[13] Sandra Ackerman et al. *Discovering the brain*. National Academies Press, 1992.

[14] Amjed S Al-Fahoum and Ausilah A Al-Fraihat. Methods of EEG signal features extraction using linear analysis in frequency and time-frequency domains. *ISRN neuroscience*, 2014, 2014.

[15] Shahbaba B. Analysis of Variance (ANOVA). In *Biostatistics with R. Use R!.*, chapter 2, pages 33–59. Springer, New York, NY, 2012.

[16] G Barragan-Jason, M Cauchoix, and EJ Barbeau. The neural speed of familiar face recognition. *Neuropsychologia*, 75:390–401, 2015.

[17] C. Sidney Burrus. *FIR Digital Filters*. OpenStax CNX. `http://cnx.org/contents/12927e3f-7e46-41a9-9f48-7fdbf2d6ef78@2`, 18 nov 2012. online book.

[18] Stéphanie Caharel, Kevin Collet, and Bruno Rossion. The early visual encoding of a face (N170) is viewpoint-dependent: a parametric ERP-adaptation study. *Biological psychology*, 106:18–27, 2015.

[19] J-F Cardoso. Blind signal separation: statistical principles. *Proceedings of the IEEE*, 86(10):2009–2025, 1998.

[20] Maximilien Chaumon, Dorothy VM Bishop, and Niko A Busch. A practical guide to the selection of independent components of the electroencephalogram for artifact correction. *Journal of neuroscience methods*, 250:47–63, 2015.

[21] Roberta Daini, Chiara M Comparetti, and Paola Ricciardelli. Behavioral dissociation between emotional and non-emotional facial expressions in congenital prosopagnosia. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 2014.

[22] Roxane J Itier and Margot J Taylor. Face recognition memory and configural processing: a developmental ERP study using upright, inverted, and contrast-reversed faces. *Journal of cognitive neuroscience*, 16(3):487–502, 2004.

[23] Tzyy-Ping Jung, Scott Makeig, Colin Humphries, Te-Won Lee, Martin J Mckeown, Vicente Iragui, and Terrence J Sejnowski. Removing electroencephalographic artifacts by blind source separation. *Psychophysiology*, 37(2):163–178, 2000.

[24] Emily S Kappenman and Steven J Luck. The effects of electrode impedance on data quality and statistical significance in ERP recordings. *Psychophysiology*, 47(5):888–904, 2010.

[25] Manousos A Klados, Christos Papadelis, Christoph Braun, and Panagiotis D Bamidis. REG-ICA: a hybrid methodology combining blind source separation and regression techniques for the rejection of ocular artifacts. *Biomedical Signal Processing and Control*, 6(3):291–300, 2011.

[26] Massimiliano Laddomada and Marina Mondin. *Elaborazione numerica dei segnali*. Pearson Italia Spa, 2007.

[27] Scott Makeig, Anthony J Bell, Tzyy-Ping Jung, and Terrence J Sejnowski. Independent component analysis of electroencephalographic data. In *Advances in neural information processing systems*, pages 145–151, 1996.

[28] Francesca Miraglia, Fabrizio Vecchio, Placido Bramanti, and Paolo Maria Rossini. EEG characteristics in "eyes-open" versus "eyes-closed" conditions: small-world network architecture in healthy aging and age-related brain degeneration. *Clinical Neurophysiology*, 127(2):1261–1268, 2016.

[29] Margaret C Moulson, Benjamin Balas, Charles Nelson, and Pawan Sinha. EEG correlates of categorical and graded face perception. *Neuropsychologia*, 49(14):3847–3853, 2011.

[30] Joanna Parketny, John Towler, and Martin Eimer. The activation of visual face memory and explicit face recognition are delayed in developmental prosopagnosia. *Neuropsychologia*, 75:538–547, 2015.

[31] T Radüntz, J Scouten, O Hochmuth, and B Meffert. EEG artifact elimination by extraction of ICA-component features using image processing algorithms. *Journal of neuroscience methods*, 243:84–93, 2015.

[32] Raphaëlle N Roy, Stephane Bonnet, Sylvie Charbonnier, and Aurélie Campagne. Mental fatigue and working memory load estimation: interaction and implications for EEG-based passive BCI. In *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2013 35th Annual International Conference of the IEEE*, pages 6607–6610. IEEE, 2013.

[33] Christian Scharinger, Yvonne Kammerer, and Peter Gerjets. Pupil dilation and EEG alpha frequency band power reveal load on executive functions for link-selection processes during text reading. *PloS one*, 10(6):e0130608, 2015.

[34] Julius O. Smith. *Introduction to Digital Filters with Audio Applications*. `https://ccrma.stanford.edu/~jos/filters/`, accessed November 12, 2017. online book.

[35] Jose Antonio Urigüen and Begoña Garcia-Zapirain. EEG artifact removal—state-of-the-art and guidelines. *Journal of neural engineering*, 12(3):031001, 2015.

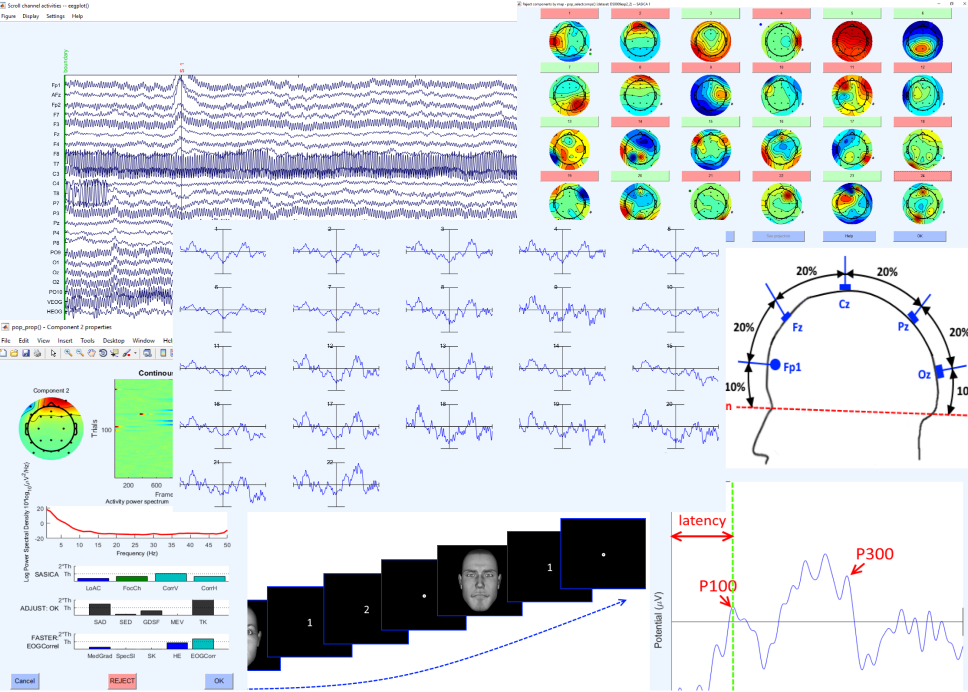
[36] Peter Welch. The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: a method based on time averaging over short, modified periodograms. *IEEE Transactions on audio and electroacoustics*, 15(2):70–73, 1967.

[37] Andreas Widmann, Erich Schröger, and Burkhard Maess. Digital filter design for electrophysiological data–a practical approach. *Journal of neuroscience methods*, 250:34–46, 2015.

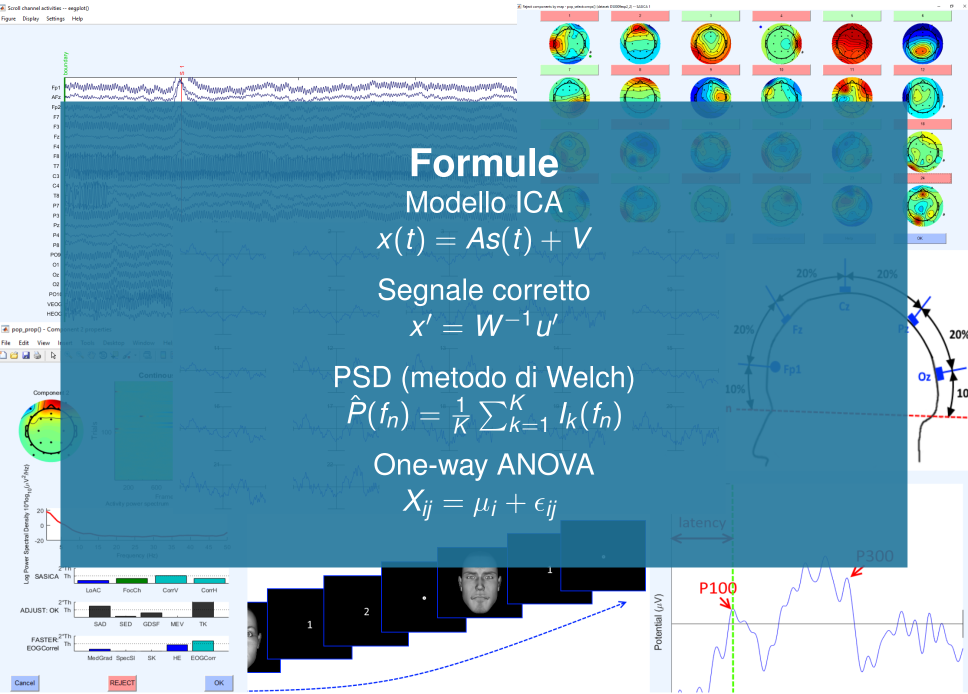
[38] Irene Winkler, Stefan Haufe, and Michael Tangermann. Automatic classification of artifactual ICA-components for artifact removal in EEG signals. *Behavioral and Brain Functions*, 7(1):30, 2011.

[39] Alberto Zani and Alice Mado Proverbio. *Metodi strumentali nelle neuroscienze cognitive*. Aracne editrice, 2013.

[40] Pega Zarjam, Julien Epps, Fang Chen, and Nigel H Lovell. Estimating cognitive workload using wavelet entropy-based features during an arithmetic task. *Computers in biology and medicine*, 43(12):2186–2195, 2013.



Scroll channel activities -- eegplot()
Figure Display Settings Help
boundary
S 1
Fp1
AFz
Fp2
F7
F3
Fz
F4
F8
T7
C3
C4
T8
P7
P3
Pz
P4
P8
PO9
O1
Oz
O2
PO10
VEOG
HEOG
pop_prop() - Component 2 properties
File Edit View Insert Tools Desktop Window
Component 2
Trials
Frame
Activity power spectrum
Log Power Spectral Density 10*log10(μV²/Hz)
Frequency (Hz)
SASICA
LoAC
FocCh
CorrV
CorrH
ADJUST: OK
SAD
SED
GDSF
MEV
TK
FASTER:
EOGCorrel
MedGrad
SpecSl
SK
HE
EOGCorr
Cancel
REJECT
OK
See projection
Help
OK
20%
20%
20%
20%
10%
10%
Cz
Fz
Pz
Fp1
Oz
latency
P100
P300
Potential (μV)



Formule

Modello ICA

$$x(t) = As(t) + V$$

Segnale corretto

$$x' = W^{-1}u'$$

PSD (metodo di Welch)

$$\hat{P}(f_n) = \frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K} I_k(f_n)$$

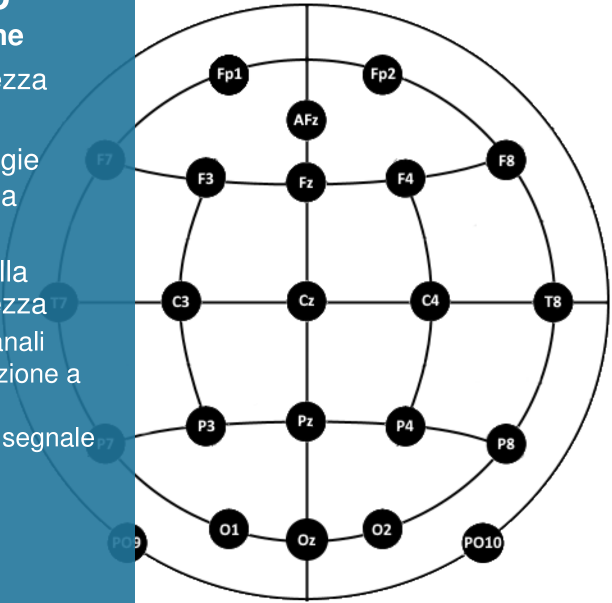
One-way ANOVA

$$X_{ij} = \mu_i + \epsilon_{ij}$$

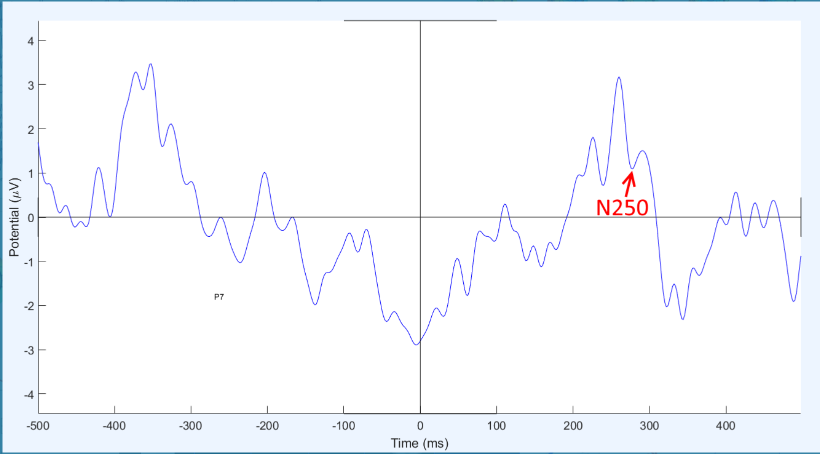
Filtraggio

inizializzazione

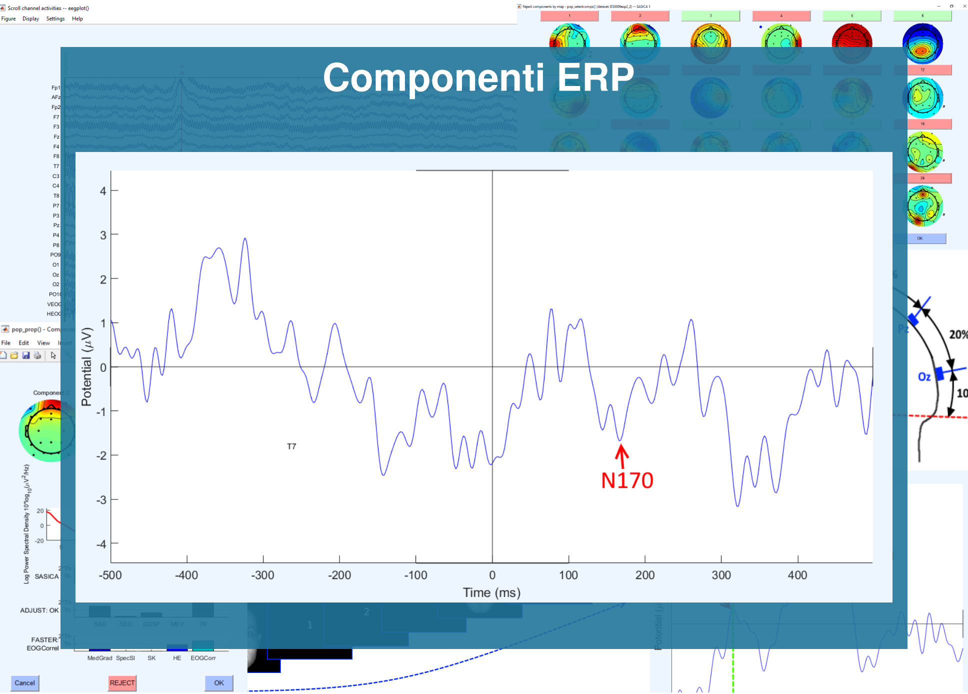
- Calcolo accuratezza risposte
- Estrazione tipologie eventi in base alla risposta data
- Preparazione della registrazione grezza
    - Editing dei canali
    - Ri-referenziazione a *Cz*
    - Divisione del segnale



Componenti ERP



Componenti ERP



Componenti ERP