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

Relazione per la prova finale

***«Interfacce Cervello-Computer basate su EEG: studio dei paradigmi P300 e SSVEP
per l'assistenza alla comunicazione in persone con gravi disabilità motorie»***

Relatore: Prof. Emanuela Formaggio
Padova, 20/07/2026

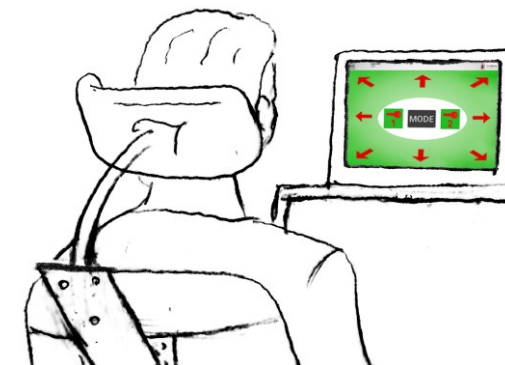
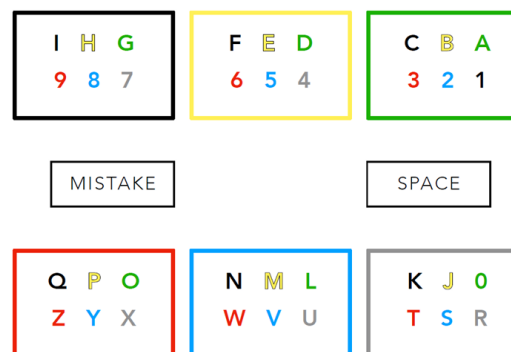
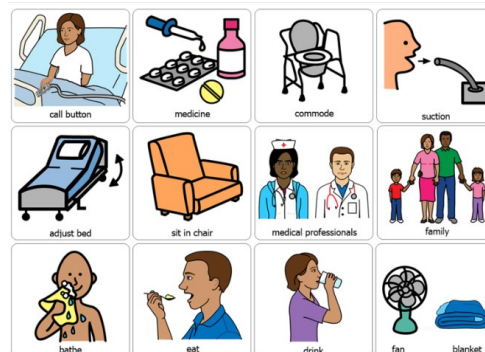
Laureanda: Agnese Marulli
Matricola n.: 2101436

- **Tetraplegia:** paralisi del torso e di tutti e quattro gli arti.
- **Anartria:** perdita della capacità di produrre linguaggio a causa della paralisi dei muscoli del viso, della faringe e della laringe.
- **Apertura degli occhi preservata:** il paziente mantiene volontariamente gli occhi aperti.
- **Movimenti oculari:** il paziente mantiene, come unica funzione motoria volontaria residua, la capacità di battere le palpebre e muovere gli occhi verticalmente.
- **Coscienza preservata:** nonostante la paralisi totale, i pazienti restano cognitivamente integri; percepiscono, comprendono, provano emozioni e formano ricordi, pur non potendo esprimerli autonomamente.

La consapevolezza di possedere una mente pienamente lucida e attiva, ma intrappolata in un corpo che non risponde, genera spesso **isolamento e disagio psicologico**, che possono tradursi in depressione.

SISTEMI DI COMUNICAZIONE AUMENTATIVA E ALTERNATIVA (CAA)

No Tech	Low Tech	High Tech
Movimenti oculari (es. battito delle palpebre, sguardo verticale o orizzontale)	Tavola E-Tran (Eye Transfer)	Dispositivi elettronici (es. tablet, computer)
Movimenti facciali	Tabelle alfabetiche	Sistemi multi-switch
Movimento degli arti	Dispositivo vocale a messaggio singolo	Interfacce cervello-computer (BCI)
Linguaggio dei segni	Applicazioni carta-penna	Sistemi di puntamento oculare



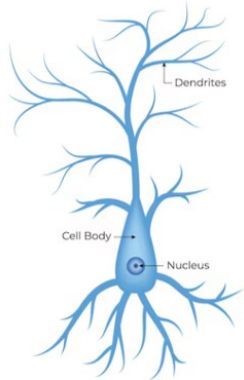


**ACQUISIZIONE
DEL SEGNALE**
tramite elettrodi EEG
posizionati sullo scalpo.

ESTRAZIONE DELLE CARATTERISTICHE

Il segnale viene filtrato, ripulito dagli artefatti e partizionato in segmenti; da ciascun segmento vengono estratti i parametri matematici rilevanti (caratteristiche) che meglio descrivono lo stato cerebrale.

**TRADUZIONE
DELLE
CARATTERISTICHE**
Un classificatore traduce le caratteristiche estratte in un punteggio o decisione, generando un comando specifico.



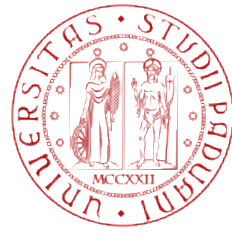
SORGENTE
I neuroni piramidali
generano potenziali
postsinaptici.

OUTPUT



COMANDO

OBIETTIVO DEL LAVORO



- Descrivere l'architettura e il funzionamento degli **speller** BCI basati su EEG.
- Analizzare separatamente i **paradigmi** P300 e SSVEP, evidenziandone principi di funzionamento, vantaggi e criticità.
- Valutare, attraverso il caso di studio di Yin et al. (2014), i benefici di un approccio **ibrido** rispetto ai sistemi a singolo paradigma.

I POTENZIALI EVOCATI: P300 e SSVEP

I **potenziali evocati** (PE) consistono in una variazione dell'attività elettrica cerebrale causata da uno stimolo sensoriale esterno.

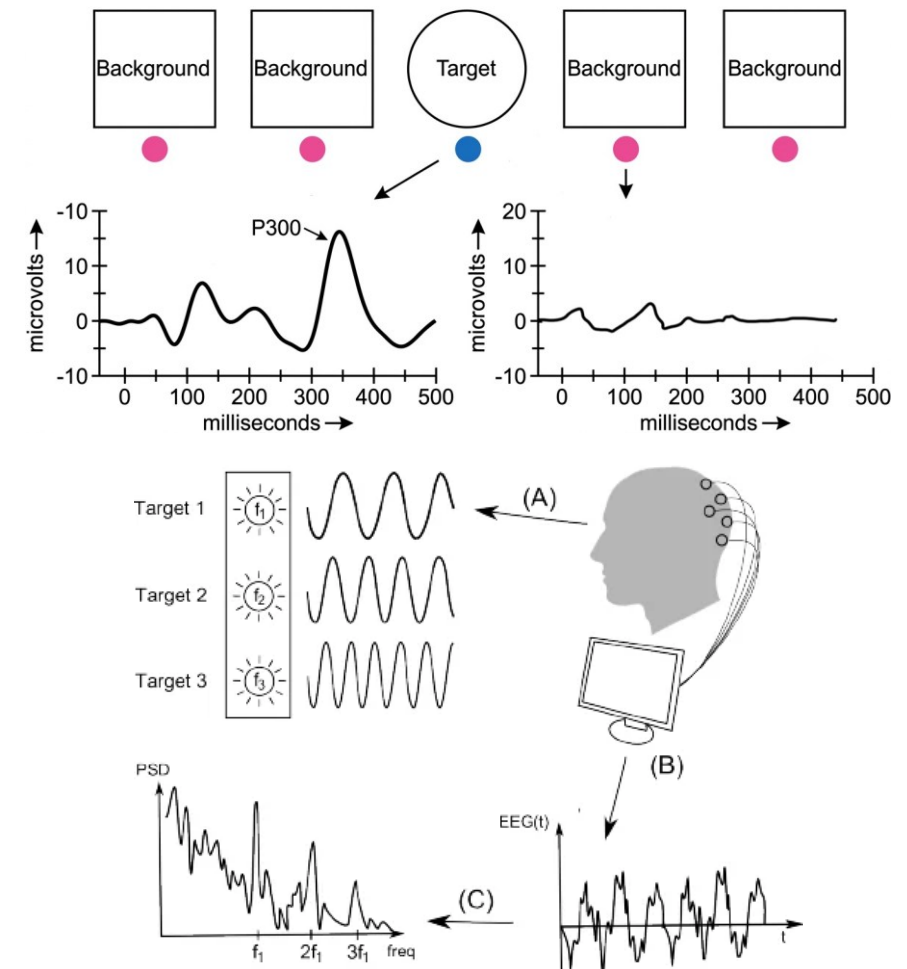
Un potenziale evocato **cognitivo**: la **P300**.

Viene elicitata usando il **paradigma oddball**, in cui target a bassa probabilità di presentazione sono interposti a non-target ad alta probabilità.

La sua morfologia non dipende tanto dalle caratteristiche fisiche dello stimolo, quanto dal significato cognitivo che il soggetto attribuisce ad esso (componente endogena).

Un potenziale evocato **visivo**: lo **SSVEP**.

Il cervello risponde a uno stimolo visivo che lampeggia in modo continuo a una **frequenza costante**.

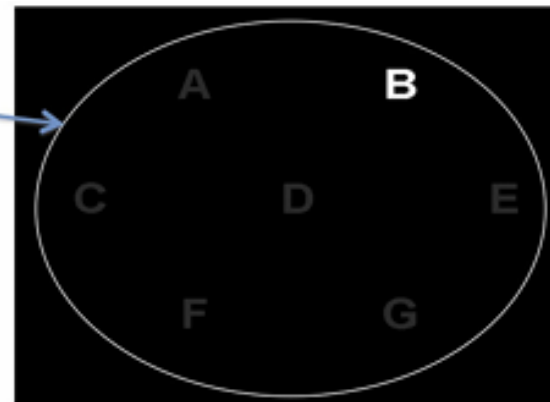
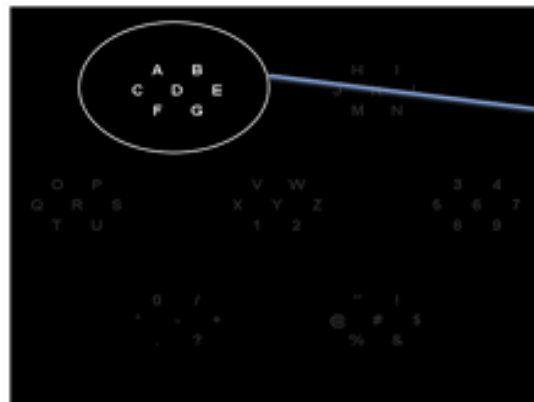


IL PARADIGMA P300

Paradigma riga-colonna (RCP) Paradigma a carattere singolo

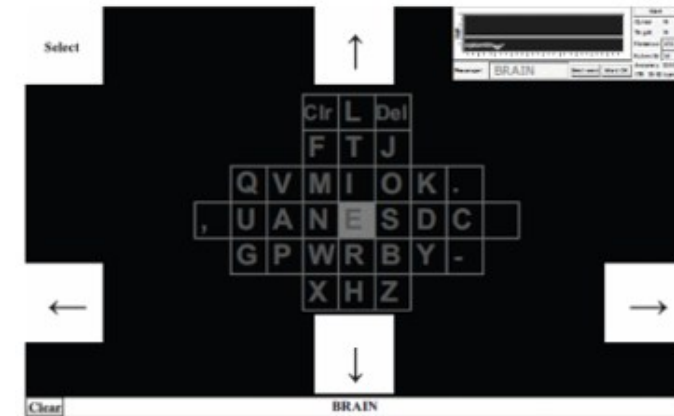
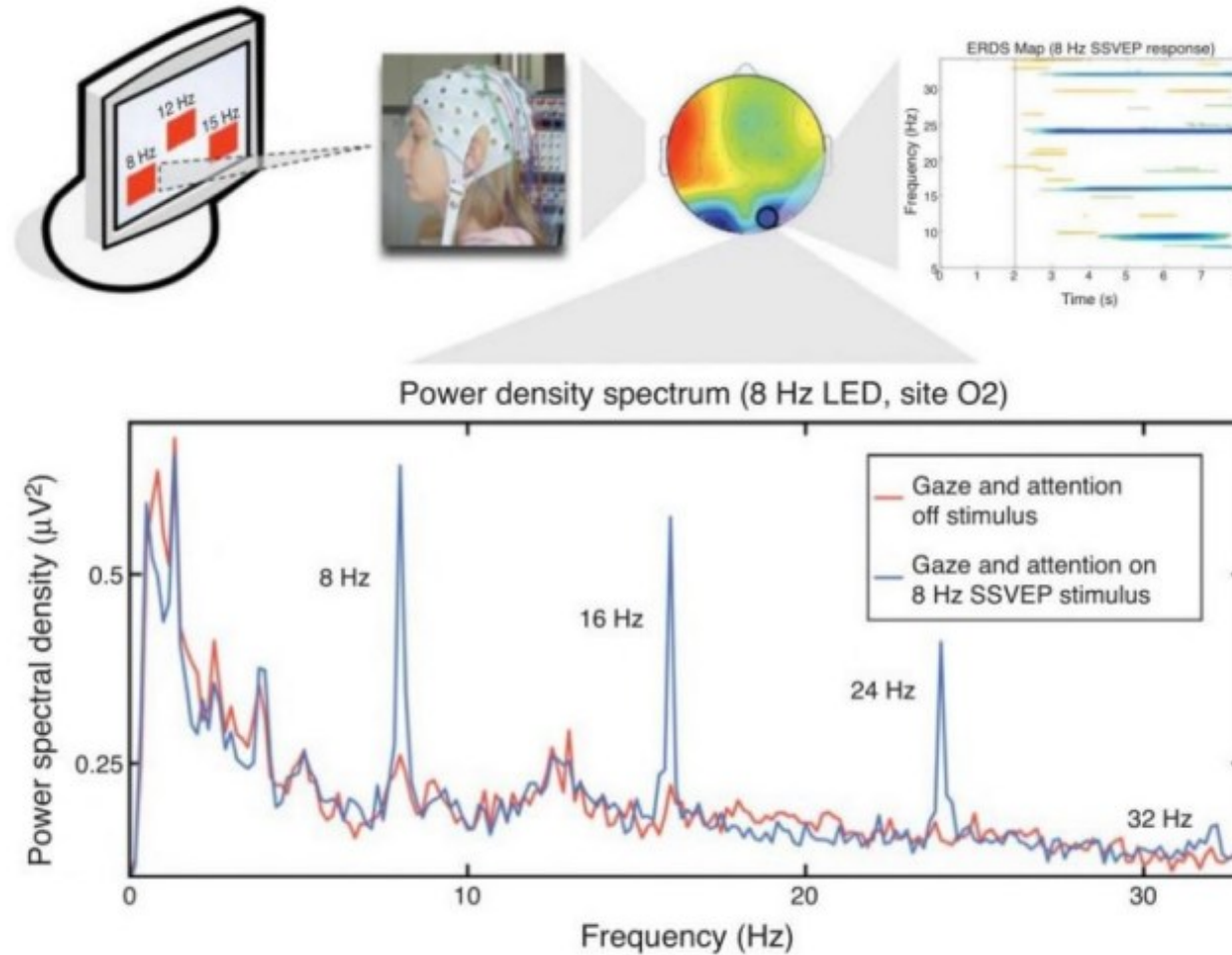


Paradigma basato su regioni



- **Pre-elaborazione:** tramite filtraggio passa-banda nel range 0.1-30 Hz e analisi delle componenti indipendenti (ICA) per isolare gli artefatti.
- **Estrazione delle caratteristiche:** segmentazione del segnale in finestre temporali successive allo stimolo e media (*averaging*) delle risposte.
- **Classificazione:** distinguere i segmenti EEG che contengono la P300 (il più utilizzato è Linear Discriminant Analysis, LDA).

IL PARADIGMA SSVEP



Bremen speller

A	B	C	D	E	F
G	H	I	J	K	L
M	N	O	P	Q	R
S	T	U	V	W	X
Y	Z	1	2	3	4
5	6	7	8	9	del

Paradigma riga-colonna (RC)

Speller ibrido P300-SSVEP:

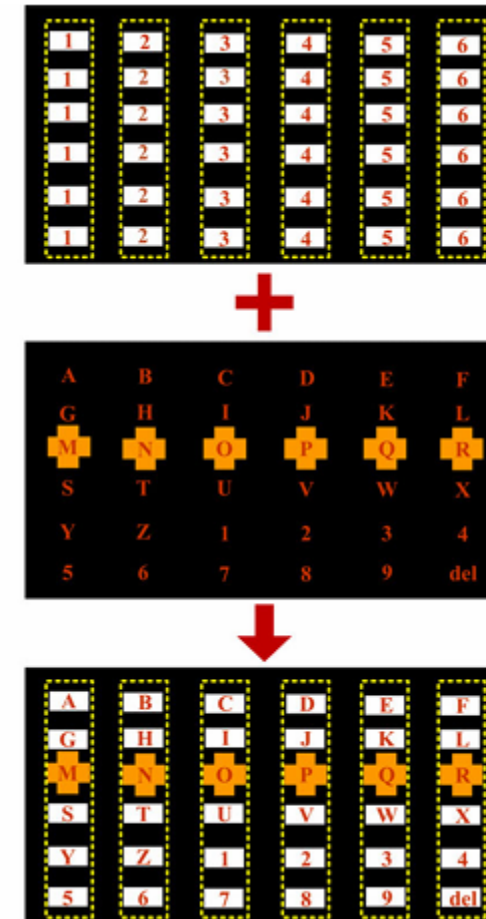
combinazione simultanea dei due paradigmi
in un'unica matrice 6x6.

Risultati:

RC: PITER medio **53,06 bit/min.**

Miglioramento fino al +115% rispetto al
P300 puro e +99% rispetto al SSVEP puro.

Modalità Riga/Colonna (RC)



CONFRONTO TRA I PARADIGMI

	P300	SSVEP	IBRIDA
ITR	Basso	Alto	<u>Il più alto</u>
Training richiesto	Minimo	Minimo	Minimo/moderato
Dipendenza da controllo oculare	Bassa	Alta	Alta
Affaticamento visivo	Basso	Presente	Presente
Criticità principale	Ampiezza P300 cala nel tempo	Frequenze limitate dal refresh dello schermo	Dipendenza simultanea da entrambi i segnali

Le BCI speller non sono solo tecnologia: per pazienti LIS/SLA rappresentano spesso l'unico **canale residuo di comunicazione** con il mondo.



Direzioni di ricerca future:

- Estensione a lingue con struttura non alfabetica
- Controllo asincrono (distinguere intenzione comunicativa da osservazione passiva)
- Personalizzazione adattiva dei parametri (calibrazione automatica, subject-independent)
- Dispositivi EEG indossabili e a basso costo, per l'uso domestico.