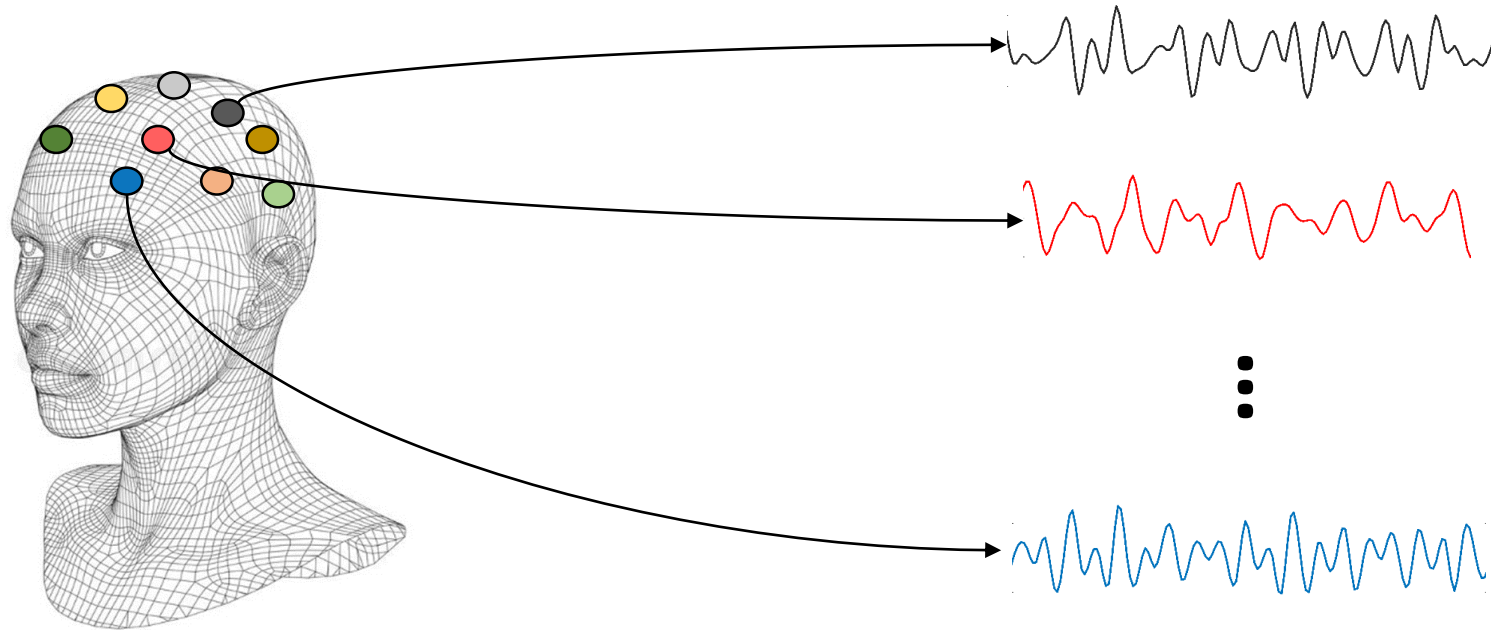


# Corso di Bioingegneria per le neuroscienze

## Laboratorio di analisi e classificazione di segnali cerebrali

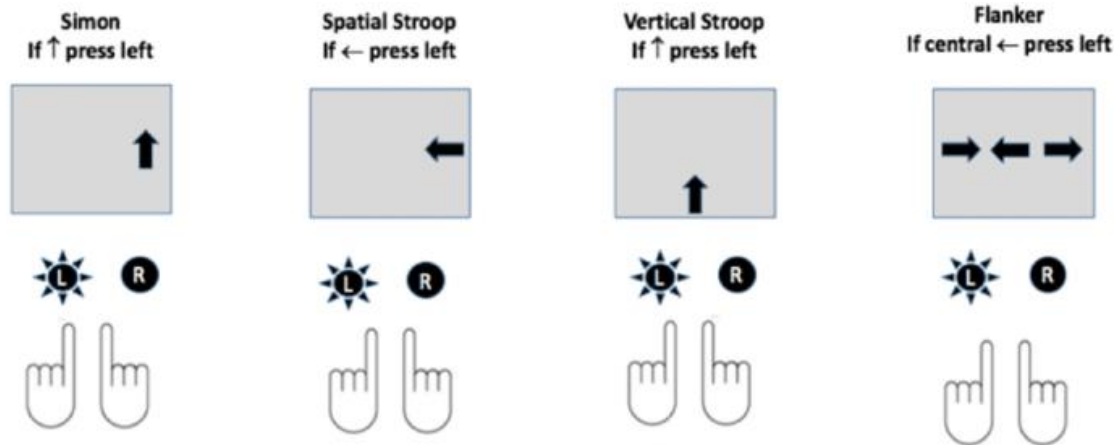
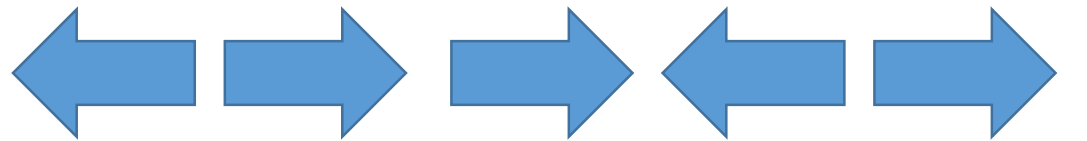


# Corso di Bioingegneria per le neuroscienze

## Flanker Task

- Acquisizione di segnale EEG di soggetti impegnati ad eseguire un task
- Al soggetto vengono mostrate immagini in cui sono presenti delle frecce

Ex.

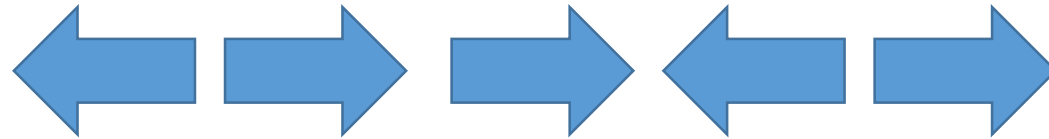


# Corso di Bioingegneria per le neuroscienze

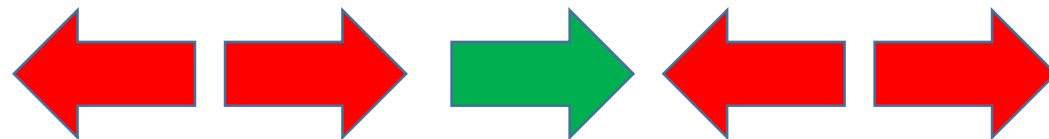
## Flanker Task

- Acquisizione di segnale EEG di soggetti impegnati ad eseguire un task
- Al soggetto vengono mostrate immagini in cui sono presenti delle frecce

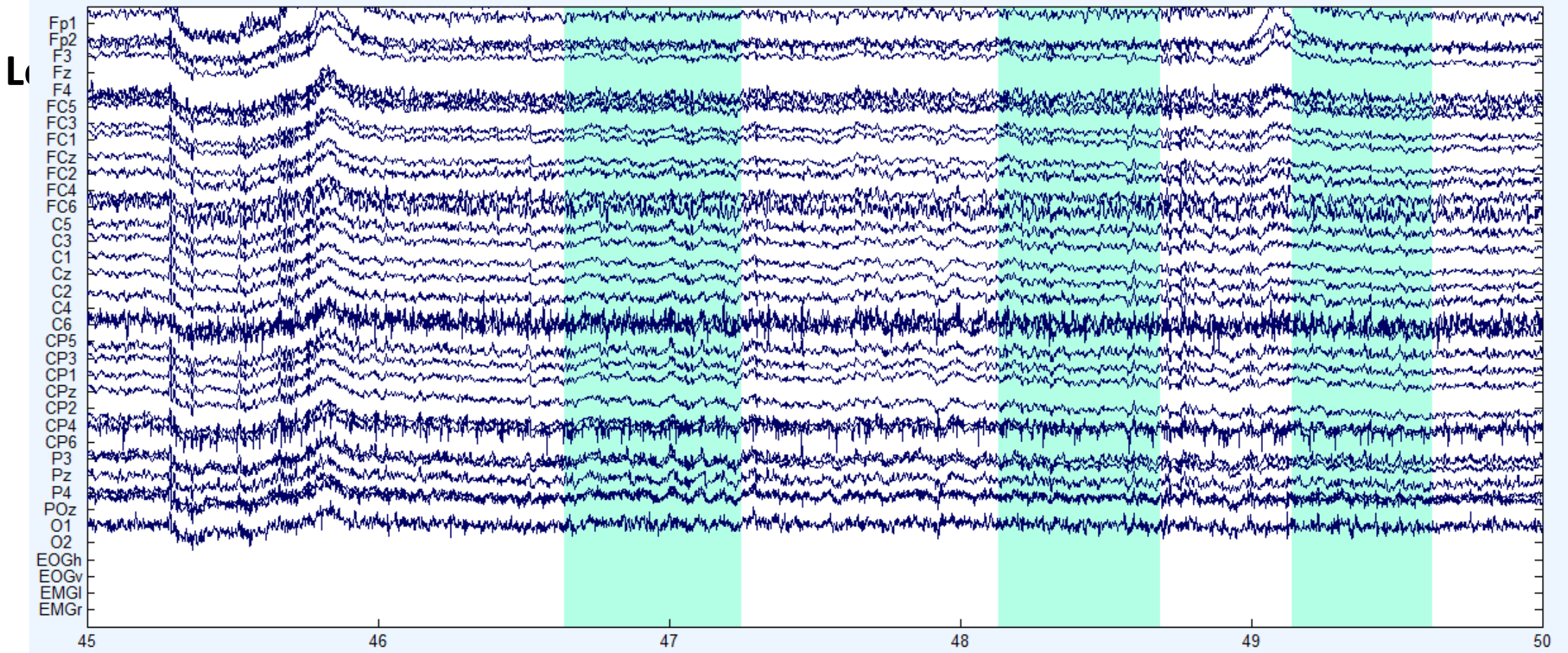
Ex.



- Al soggetto viene chiesto di premere il bottone corrispondente al verso della freccia centrale



# Corso di Bioingegneria per le neuroscienze

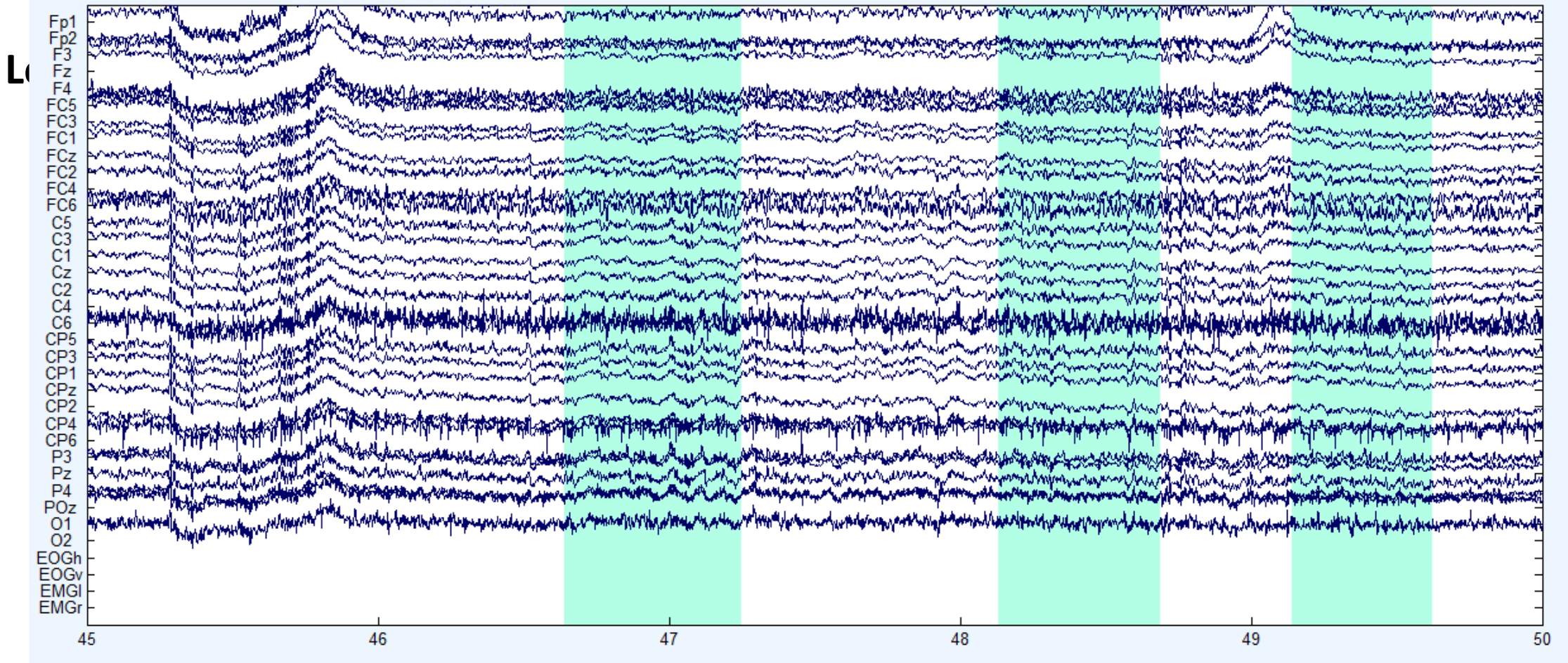


$x_1$

$x_2$

$x_3$

# Corso di Bioingegneria per le neuroscienze



$x_1$

$x_2$

$x_3$

*true*

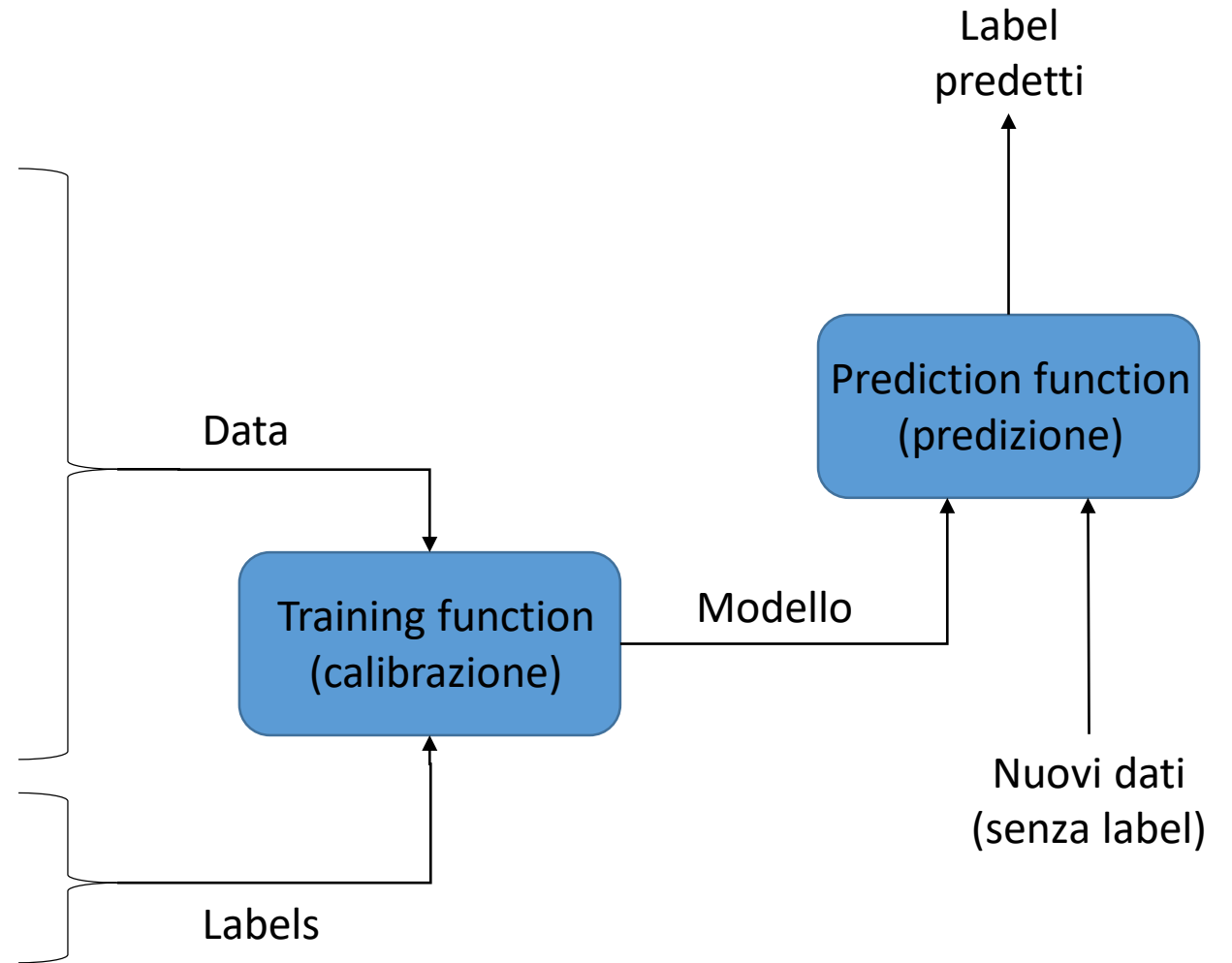
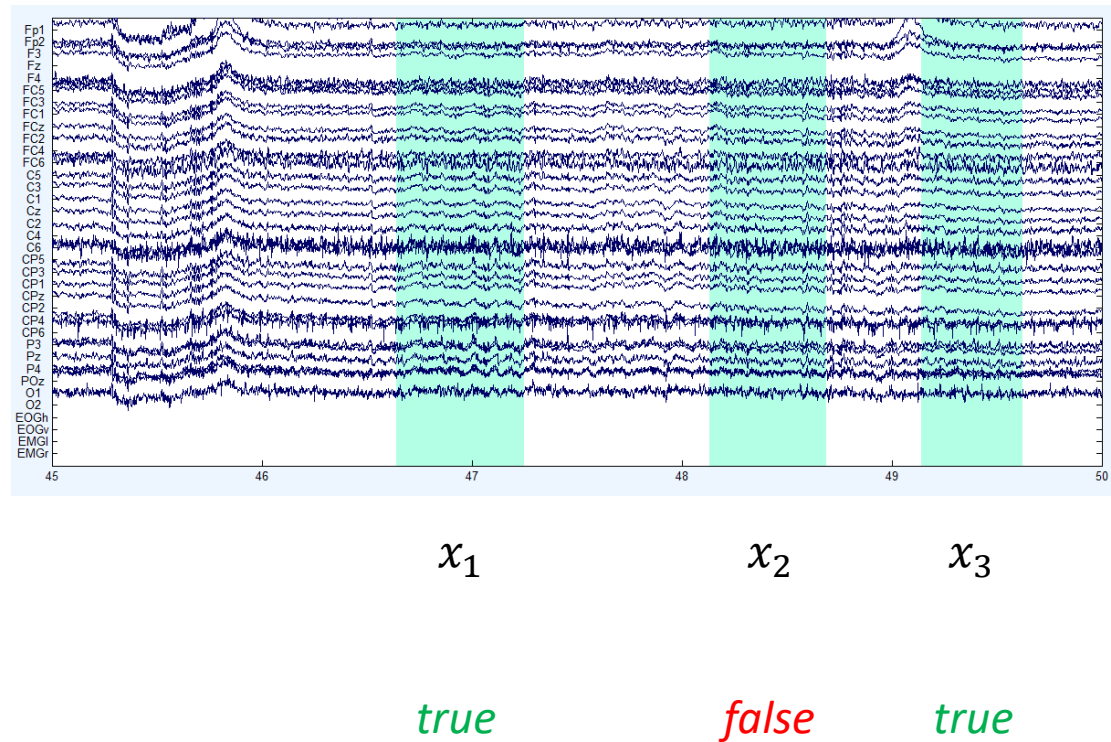
*false*

*true*



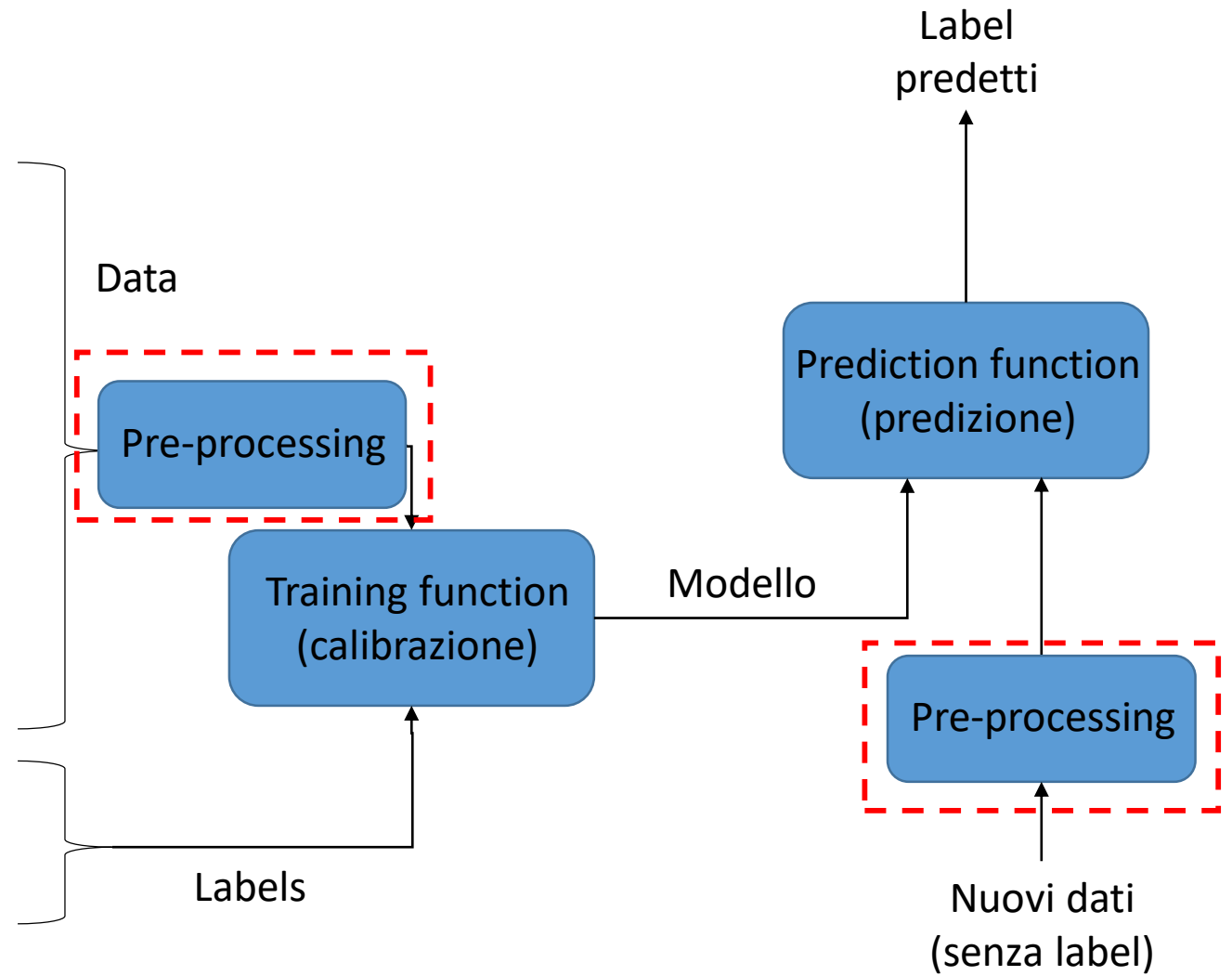
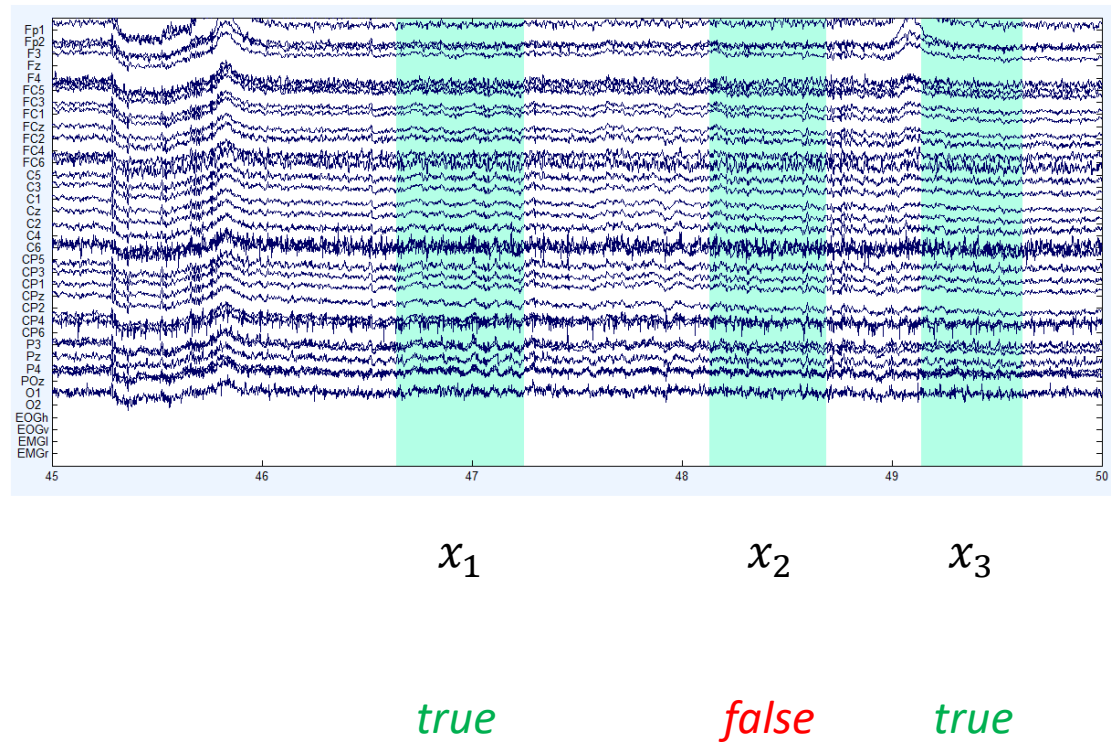
# Corso di Bioingegneria per le neuroscienze

## Learning by example



# Corso di Bioingegneria per le neuroscienze

## Learning by example



# Corso di Bioingegneria per le neuroscienze

## Pre-Processing

In molti casi il segnale grezzo acquisito dai sensori non può essere utilizzato senza prima subire dei processi di elaborazione in modo da essere “adattato” al processo di calibrazione o di predizione. Possiamo suddividere tali precessi in 3 fasi (non necessariamente da utilizzare tutte insieme o nell’ordine indicato di seguito).

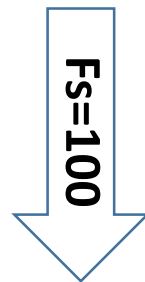
- Pulizia del segnale (es. Filtraggi nel dominio del tempo e/o della frequenza)
- Trasformazione del segnale (es. Trasformata di Fourier, Scomposizione per valori singolari, etc...)
- Estrazione delle features (ridurre la dimensionalità dei dati estraendo informazioni sintetiche cercando di limitare la perdita)



# Corso di Bioingegneria per le neuroscienze

## Flanker Task

- Gli errori possono essere frequenti (in questo esempio circa il 25%)
- Il nostro obiettivo è di capire quando il soggetto sbaglia basandoci sui dati EEG
- Primo step: dividere l'intera acquisizione in epoche, ognuna delle quali contenente una sola risposta al test
- In questo modo si ottengono segmenti di circa 1 secondo



Circa 100 campioni ad epoca

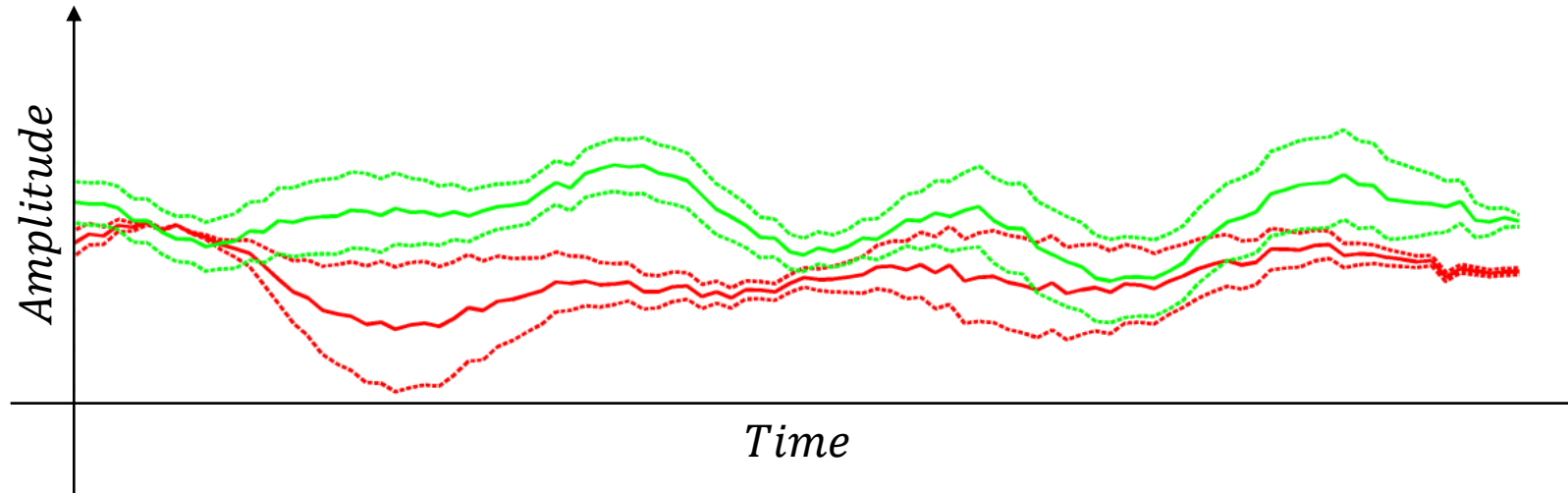
# Corso di Bioingegneria per le neuroscienze


## Estrazione features

- Considerando che il device EEG considerate ha 20 sensori, ogni campione è quindi una matrice  $20 \times 100$  (sensori  $\times$  campioni temporali)
- La dimensionalità el dato è troppo grande per poter essere utilizzato dale funzioni di calibrazione/predizione
- Si definiscono ed estraggono feature sintetiche
- Nel caso in esame, ogni epoca è a sua volta suddivisa in finestre temporali la cui media è una feature, in questo modo ogni campione diventa  $20 \times N_f$  (sensori  $\times$  numero finestre)

# Corso di Bioingegneria per le neuroscienze

## Estrazione features

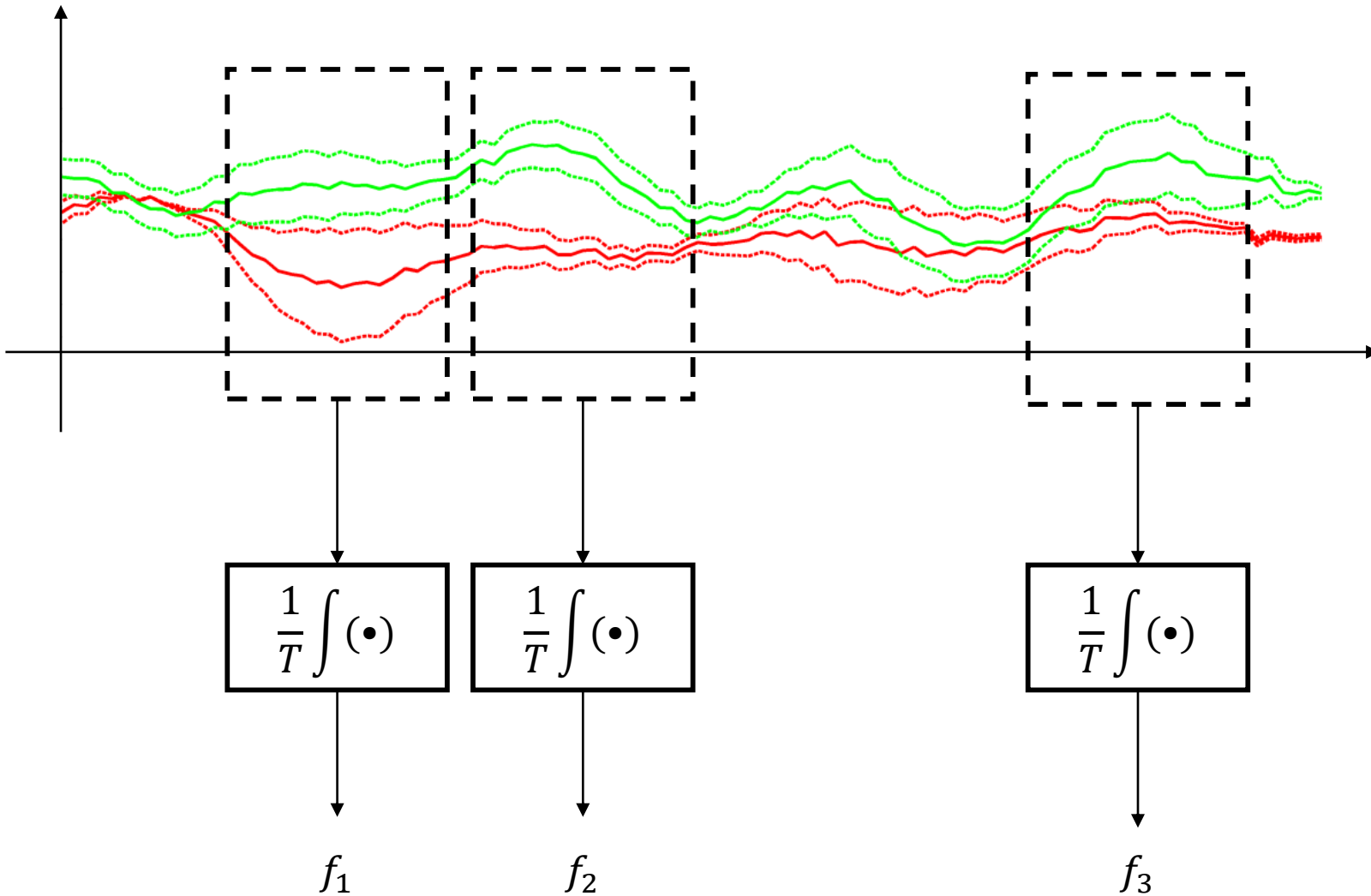


 Segnale EEG ( 3 canali) corrispondente a risposta corretta

 Segnale EEG ( 3 canali) corrispondente a risposta sbagliata

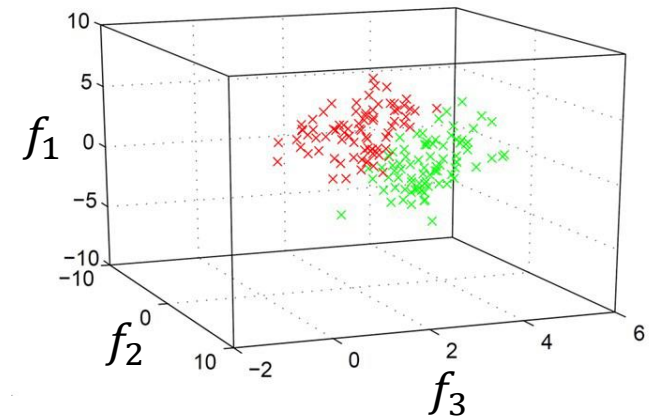
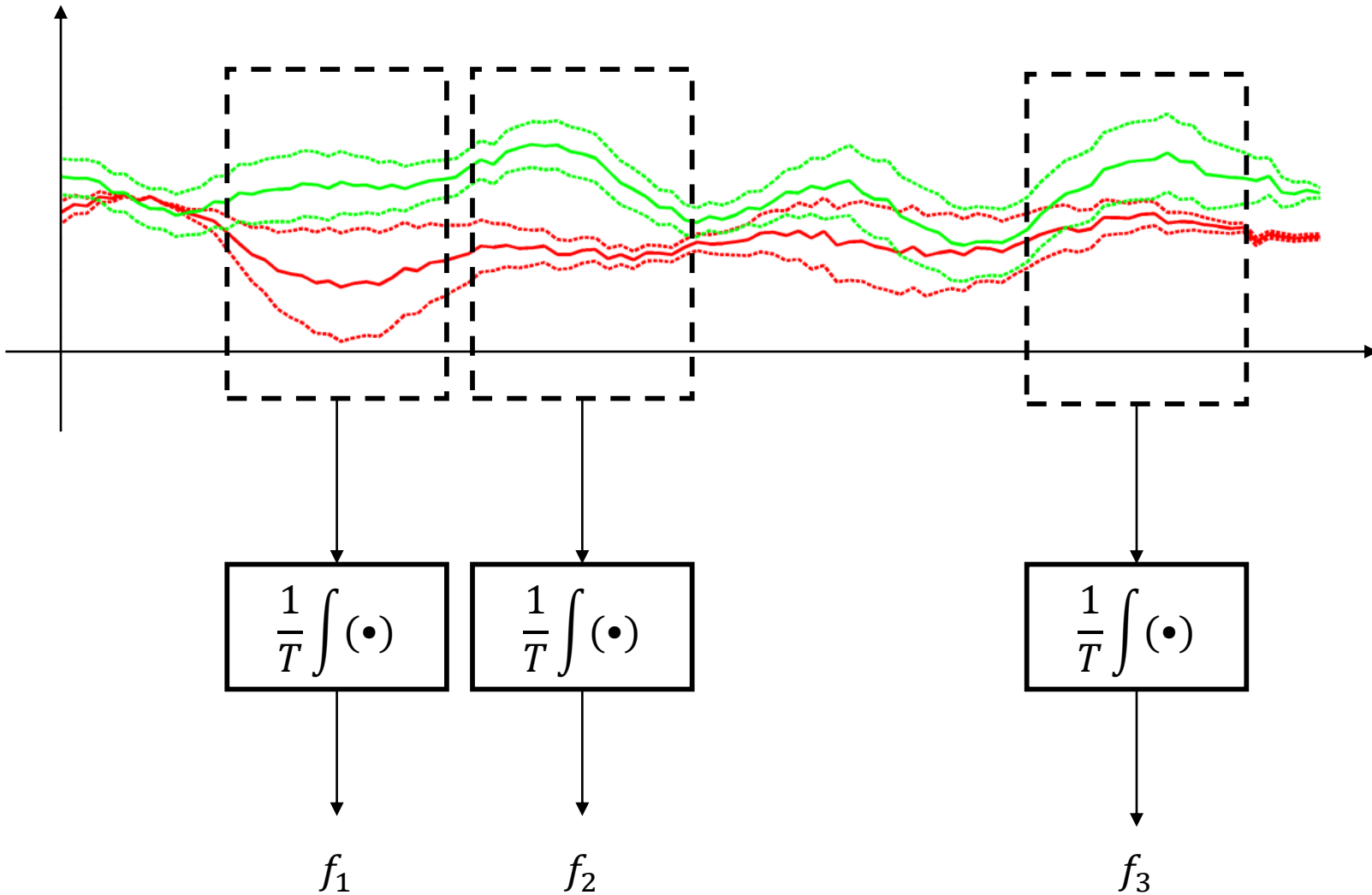
# Corso di Bioingegneria per le neuroscienze

## Estrazione features



# Corso di Bioingegneria per le neuroscienze

## Estrazione features

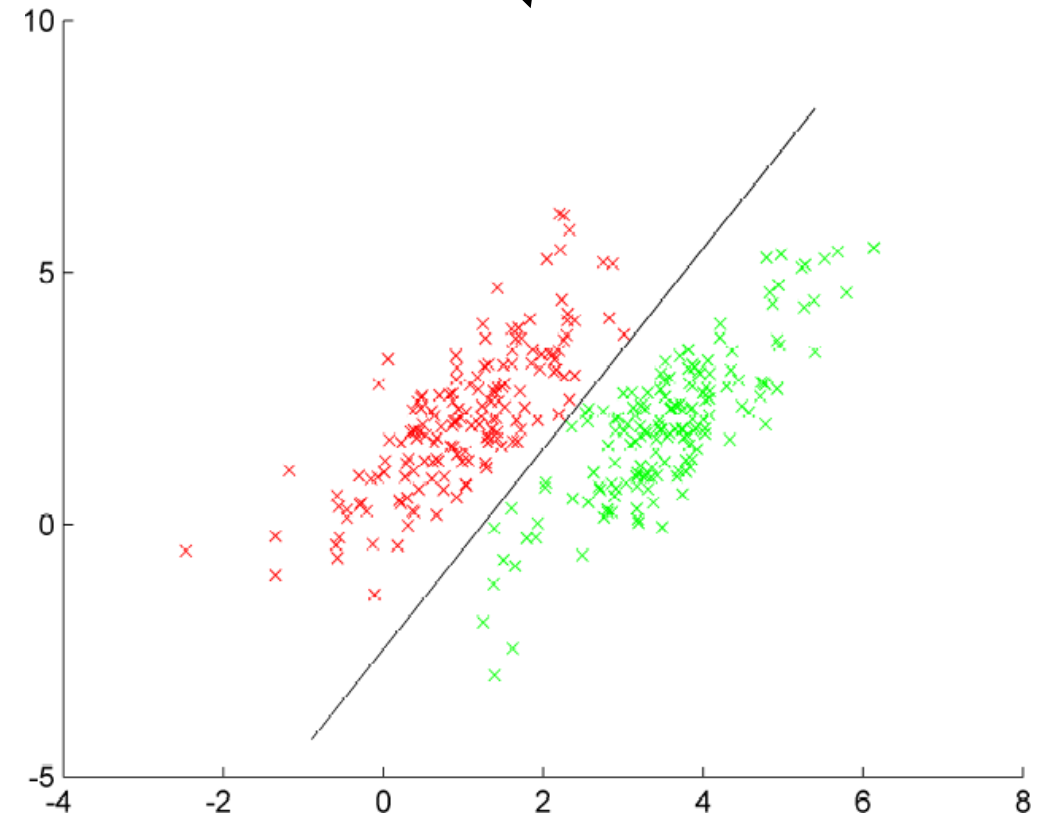
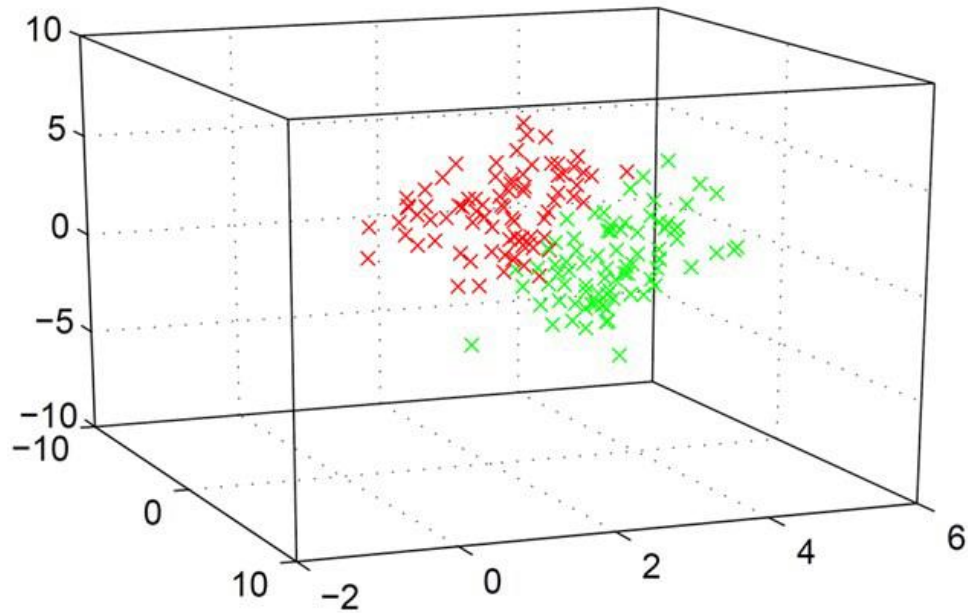




# Corso di Bioingegneria per le neuroscienze

Fase di calibrazione

Linear Discriminant  
Analysis



# Corso di Bioingegneria per le neuroscienze

## Fase di calibrazione

Come trovare la retta di separazione nello spazio delle features?

$$y = \theta x + b$$

# Corso di Bioingegneria per le neuroscienze

## Fase di calibrazione

Come trovare la retta di separazione nello spazio delle features?

$$y = \theta x + b$$

The diagram illustrates the equation  $y = \theta x + b$ . The parameters  $\theta$  and  $b$  are circled in red. Red arrows point from these circles to question marks, indicating the goal of finding these parameters.

# Corso di Bioingegneria per le neuroscienze

## Fase di calibrazione

Definito  $\mathbf{x}_k$  il vettore delle feature per i due possibili output  $C_1$  e  $C_2$ :

$$\boldsymbol{\mu}_i = \frac{1}{|C_i|} \sum_{k \in C_i} \mathbf{x}_k$$

$$\boldsymbol{\sigma}_i = \sum_{k \in C_i} (\mathbf{x}_k - \boldsymbol{\mu}_i)(\mathbf{x}_k - \boldsymbol{\mu}_i)^T$$

$$\boldsymbol{\theta} = (\boldsymbol{\sigma}_1 + \boldsymbol{\sigma}_2)^{-1}(\boldsymbol{\mu}_2 - \boldsymbol{\mu}_1)$$

$$\mathbf{b} = -\boldsymbol{\theta}^{-1}(\boldsymbol{\mu}_2 + \boldsymbol{\mu}_1)/2$$

# Corso di Bioingegneria per le neuroscienze

## Fase di calibrazione

Quando la dimensionalità delle feature è alta la matrice di covarianza si modifica in questo modo (6 ritagli temporali X 20 sensori EEG = 120 features!!!):

$$\boldsymbol{\sigma}_i = \sum_{k \in C_i} (\mathbf{x}_k - \boldsymbol{\mu}_i)(\mathbf{x}_k - \boldsymbol{\mu}_i)^T \quad \Rightarrow \quad \widetilde{\boldsymbol{\sigma}}_i = (1 - \lambda)\boldsymbol{\sigma}_i + \lambda \mathbf{I}$$

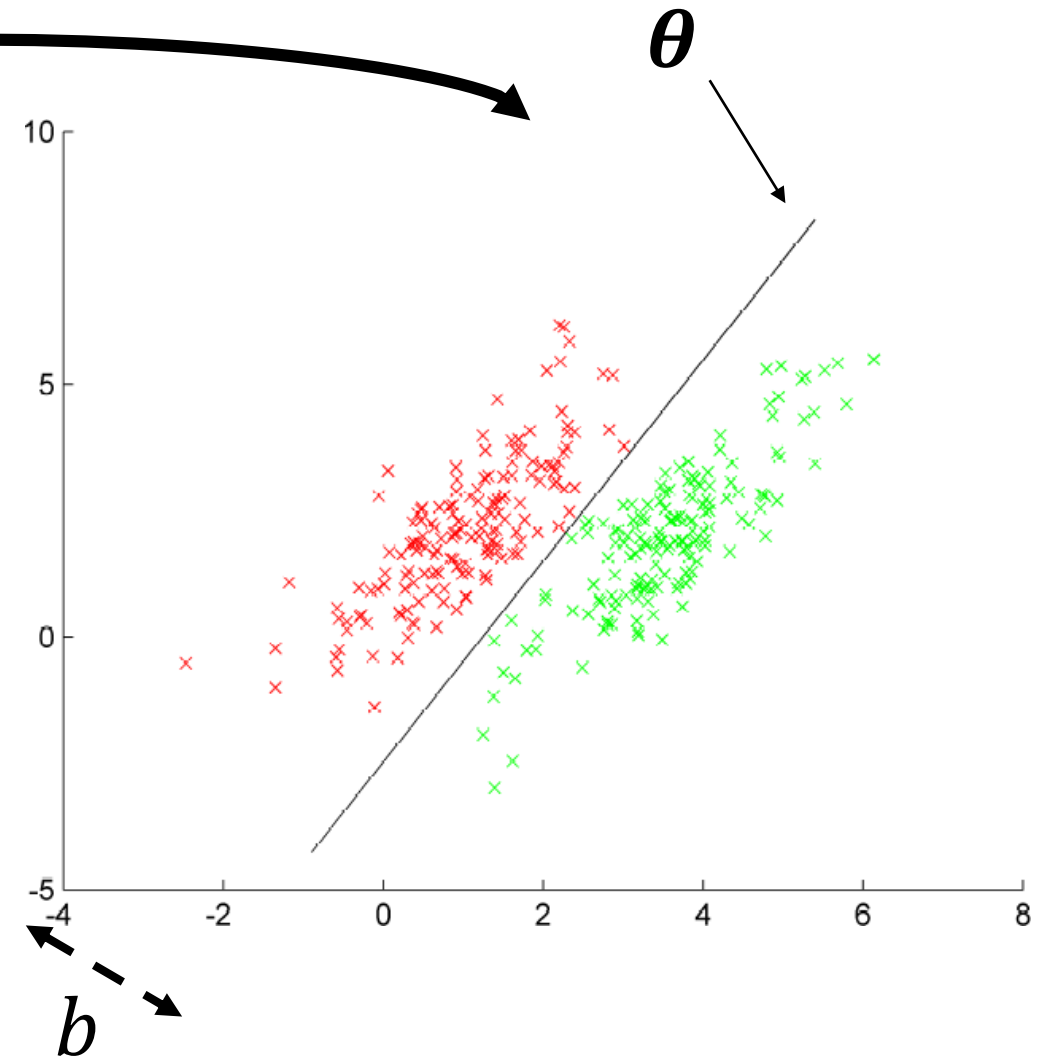
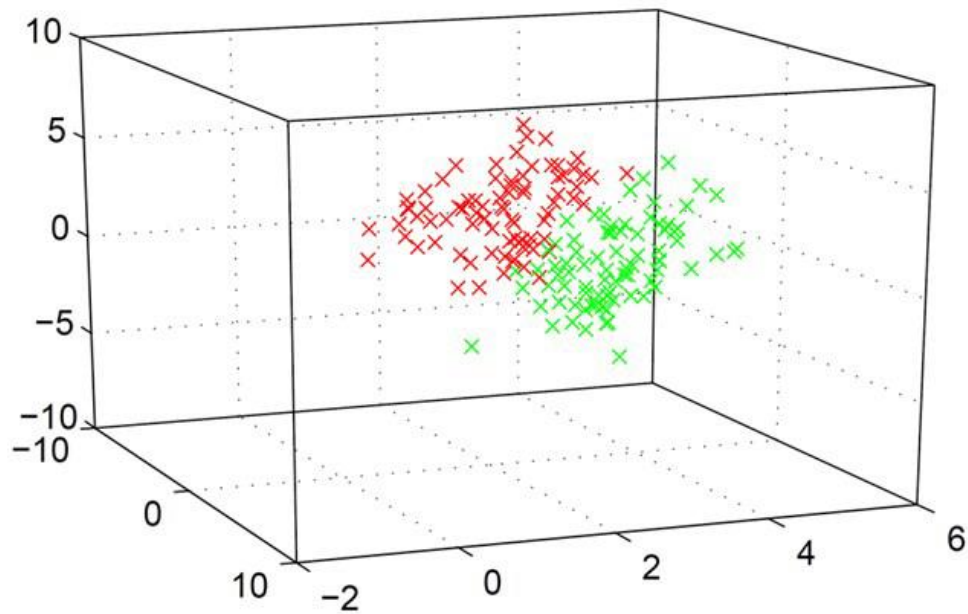
Con  $\mathbf{I}$  matrice identità e  $\lambda$  parametro di regolarizzazione



# Corso di Bioingegneria per le neuroscienze

Fase di calibrazione

Linear Discriminant Analysis



# Corso di Bioingegneria per le neuroscienze

## Fase di predizione

Definito  $\mathbf{x}$  il vettore delle feature estratti dai i dati, l'output del modello appena definito è il seguente:

$$y = \boldsymbol{\theta}\mathbf{x} + b$$

Per un problema di classificazione:

$$y = \text{sign}(\boldsymbol{\theta}\mathbf{x} + b)$$

# Corso di Bioingegneria per le neuroscienze

## Valutazione delle performance

		Label predetti	
		Corretto	Sbagliato
Label veri	Corretto	<i>True negative (TN)</i>	<i>False positive (FP)</i>
	Sbagliato	<i>False negative (FN)</i>	<i>True positive (TP)</i>

Matrice di confusione

# Corso di Bioingegneria per le neuroscienze

## Valutazione delle performance

**True positive (TP)** = # di label "corretto" riconosciuti

**True negative (TN)** = # di label "sbagliato" riconosciuti

**False positive (FP)** = # di label "sbagliato" non riconosciuti

**False negative (FN)** = # di label "corretto" non riconosciuti

$$\text{accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

$$\text{precision} = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$\text{recall} = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$\begin{aligned} \text{F1 score} &= 2 * \frac{\text{precision} * \text{recall}}{\text{precision} + \text{recall}} \\ &= \frac{2TP}{2TP + FN + FP} \end{aligned}$$