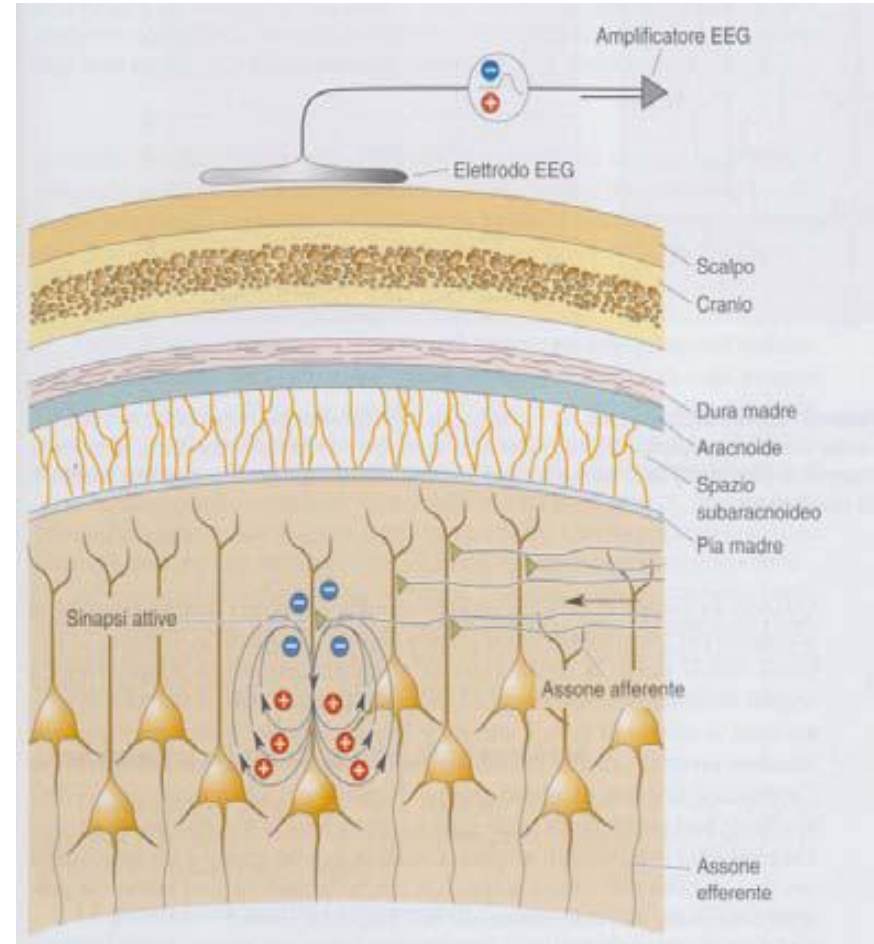


Registrazione e Analisi dei Potenziali correlati ad evento

Laboratorio di Metodi di raccolta e analisi di dati morfologici
e funzionali nelle neuroscienze cognitive

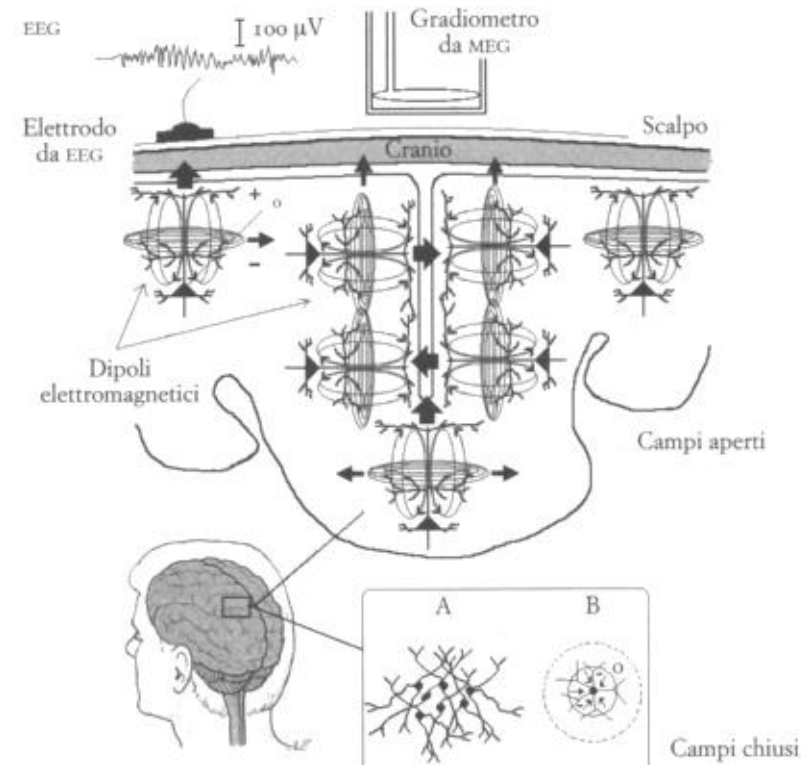
L'EEG (elettroencefalogramma)

- ▶ Misura l'attività bio-elettrica del cervello rilevata sulla superficie del cuoio capelluto mediante l'applicazione di elettrodi
- ▶ I segnali EEG sono prodotti dai **potenziali post-sinaptici** eccitatori (PPSE) o inibitori (PPSI) dei neuroni morfologicamente disposti in strati sistemici organizzati, i cui dendriti apicali sono orientati perpendicolarmente alla superficie corticale (es. le cellule piramidali e le colonne cellulari delle aree della corteccia visiva)



L'EEG (elettroencefalogramma)

- ▶ A questo flusso di corrente perpendicolare al dendrite apicale si accompagna la generazione di un campo magnetico ortogonale al flusso di corrente
- ▶ Nel loro insieme, queste attivazioni costituiscono i campi di potenziale elettromagnetico o **dipoli elettromagnetici**



L'EEG

PPSE

- ▶ In corrispondenza della zona intracorticale si registra un potenziale negativo (**sink** o minimo)
- ▶ In corrispondenza dell'uscita del flusso di corrente sullo scalpo si registra un potenziale positivo (**source** o massimo)

PPSI

- ▶ In corrispondenza della zona intracorticale si registra un potenziale positivo
- ▶ In corrispondenza dell'uscita del flusso di corrente sullo scalpo si registra un potenziale negativo

In sintesi ...

- ▶ L'EEG è una rappresentazione dei potenziali post-sinaptici che si generano a livello corticale per azione dell'attività sincrona di popolazioni di neuroni ($\sim 10^5$)

Sono così numerosi perché il segnale deve attraversare diversi strati di tessuto non neurale (meningi, liquidi intermedi, ossa del cranio e pelle) prima di giungere all'elettrodo

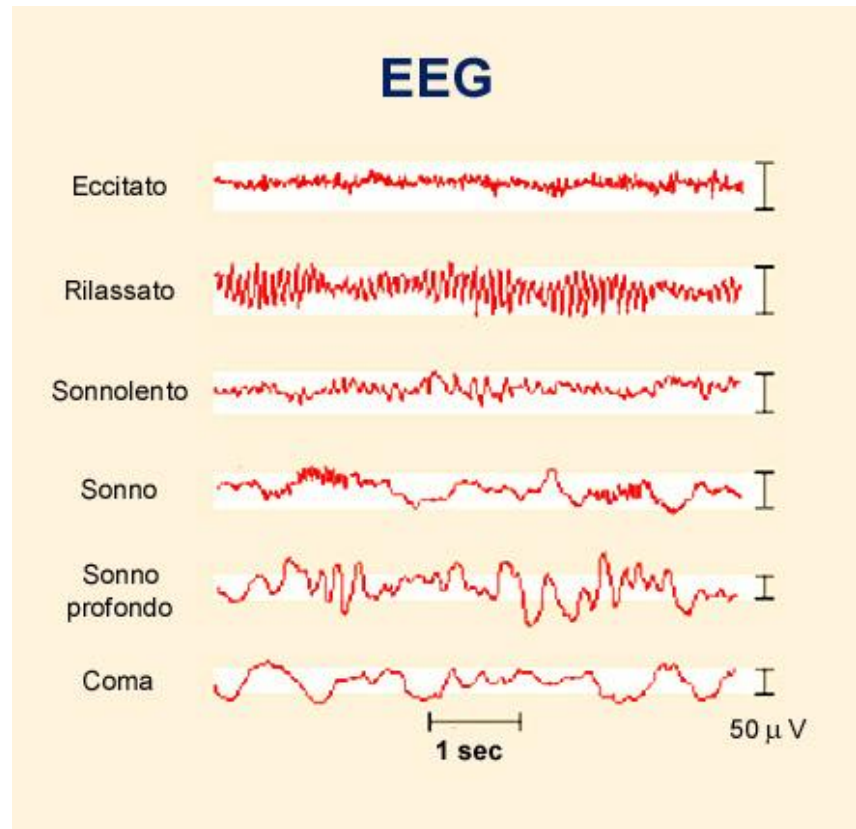
- ▶ Rileva la differenza di potenziale elettrico tra un **elettrodo esplorante** e un **elettrodo di riferimento**

posto sullo scalpo (**riferimento cefalico**)

posto in altri distretti corporei (mastoidi, lobi delle orecchie) ritenuti elettricamente inerti o comunque non dotati di attività elettrica propria (**riferimento non cefalico**)

L'EEG

- ▶ L'attività spontanea del cervello, registrata in modo continuo, si presenta sottoforma di onde di diversa frequenza
- ▶ A tale attività si sovrappongono segnali specifici legati al compito in cui il soggetto è coinvolto durante la registrazione



I potenziali correlati ad evento (ERP o *event-related potentials*)

- ▶ Variazioni specifiche del segnale EEG conseguenti ad un evento sensoriale o cognitivo
- ▶ Estratti dall'EEG tramite una procedura di filtraggio e calcolo della media (averaging)

Gli ERP

Riflettono:

- ▶ **processi sensoriali** evocati da uno stimolo fisico
- ▶ attività neuronale legata alla **preparazione motoria**
- ▶ **processi cognitivi** che dipendono dal compito in cui e' impegnato il soggetto

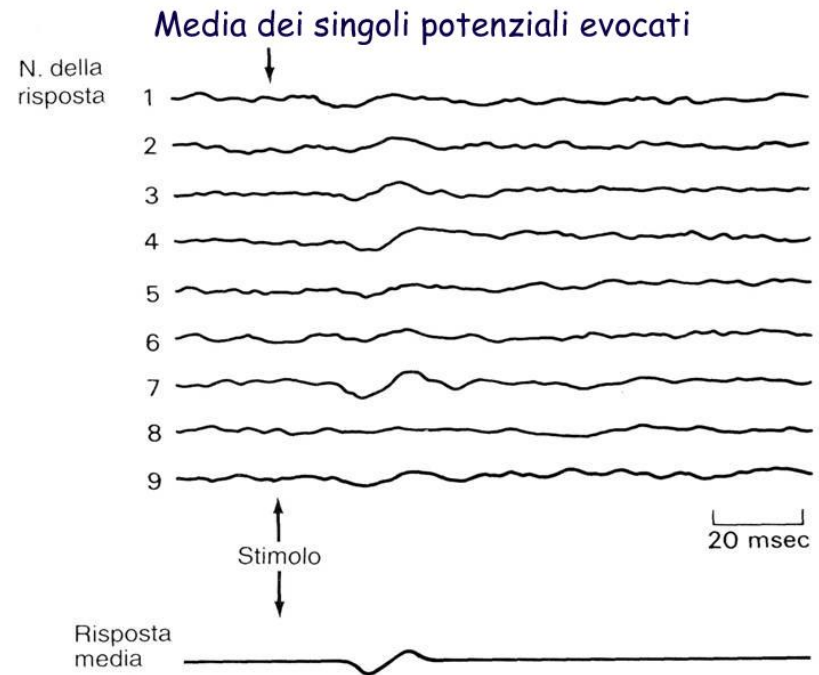
Dall'EEG agli ERP

Per estrarre il debole segnale ERP (pochi μV) dal "rumore di fondo" dell'EEG (la cui ampiezza varia da -100 a $+100$ μV)

→ **Averaging**: media dei tracciati EEG ottenuti in una serie di prove

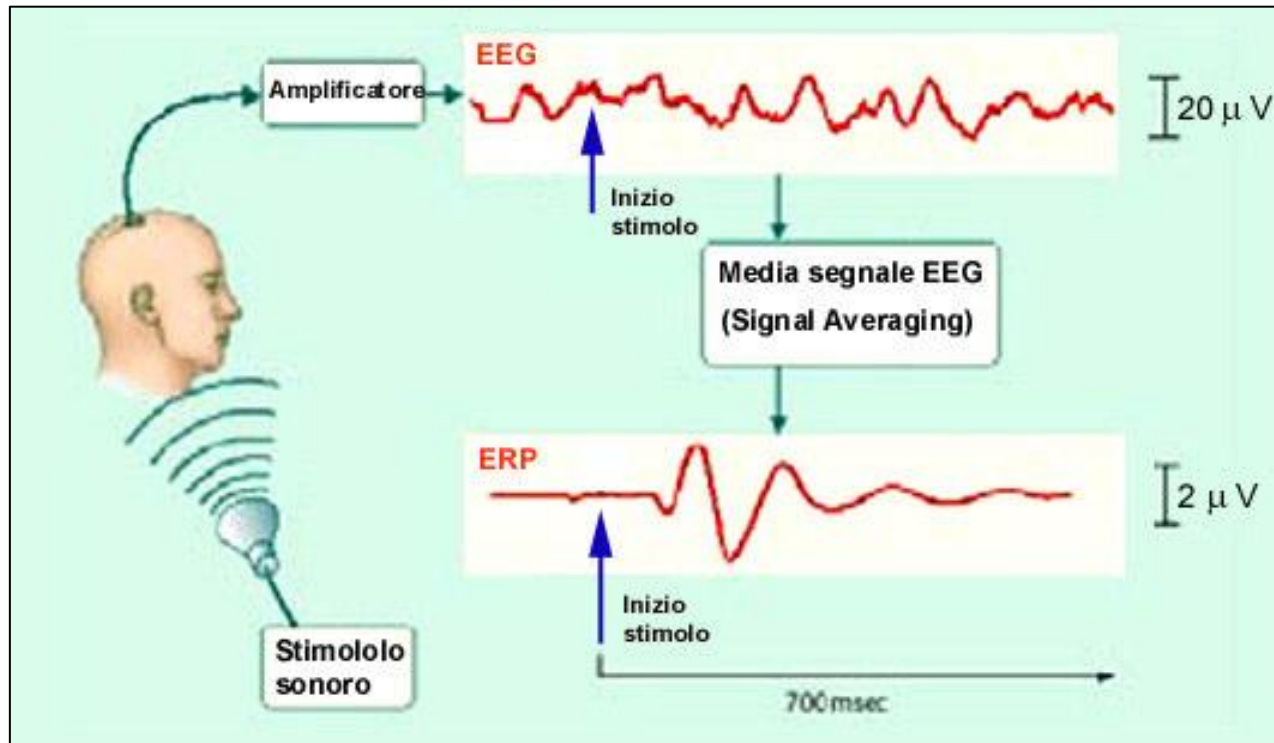
La tecnica dell'averaging

- ▶ Le variazioni di potenziale (casuali) non associate all'elaborazione dello stimolo (il segnale EEG di fondo), tendono a cancellarsi all'aumentare del numero di ripetizioni (la loro media statistica è zero)
- ▶ Le variazioni di potenziale associate all'elaborazione dello stimolo (il segnale ERP) si sommano in fase



La tecnica dell'averaging

- ▶ Il segnale ERP emerge dal rumore di fondo e all'aumentare delle ripetizioni avrà una morfologia sempre più definita



Le componenti ERP

Il risultato finale di questa analisi è un segnale bioelettrico caratterizzato da diverse

Componenti ERP

- ▶ onde o deflessioni
- ▶ manifestazione dell'attività nervosa associata a diversi stadi dell'elaborazione dell'informazione
- ▶ Ciascuna delle componenti ERP viene normalmente considerata come la presenza di PPSE o PPSI sincroni in un gruppo di neuroni corticali piuttosto grande in grado di generare campi sufficientemente ampi da poter essere registrati in superficie

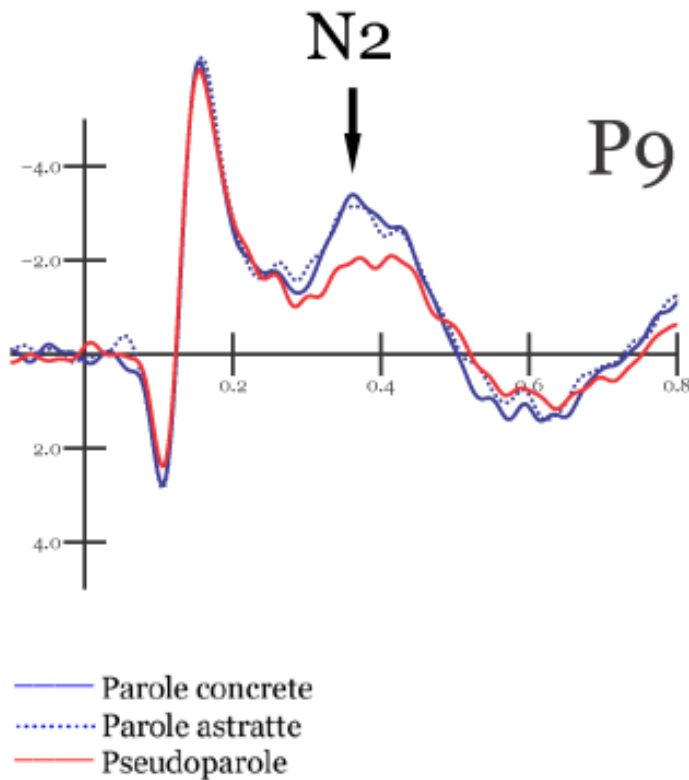
Le componenti ERP

Sono definite da:

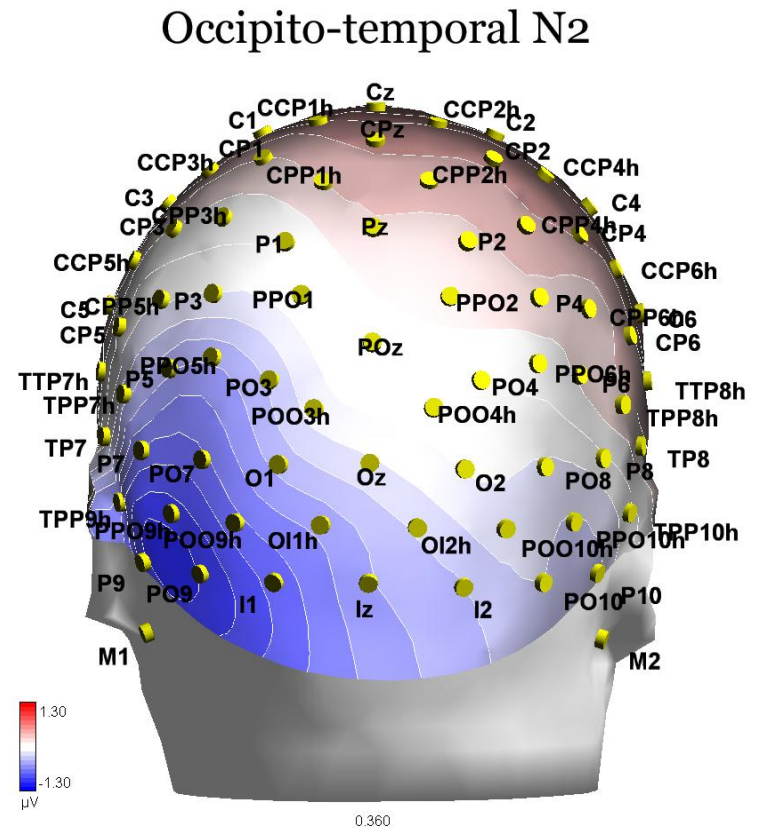
- 1. Polarità del picco (+ o -)**
 - ▶ Dipende dalla posizione dell'elettrodo all'interno della distribuzione del campo elettrico superficiale
 - ▶ La distribuzione dei campi superficiali dipende dall'area corticale attivata, dal suo orientamento rispetto al cuoio capelluto e dalla natura dei PPS che generano il campo elettrico
- 2. Ampiezza (μV)**
 - ▶ Viene considerata l'espressione del livello di attivazione delle assemblee cellulari
- 3. Latenza (ms dalla comparsa dello stimolo)**
 - ▶ Minore è questo intervallo, più precoce si ritiene sia la comparsa dello stadio di elaborazione dell'informazione che la componente riflette
- 4. Distribuzione sullo scalpo**
 - ▶ La sede delle componenti permette di identificare quale regione corticale è attiva in seguito ad un particolare stimolo

Le componenti ERP

Polarità, ampiezza e latenza del picco



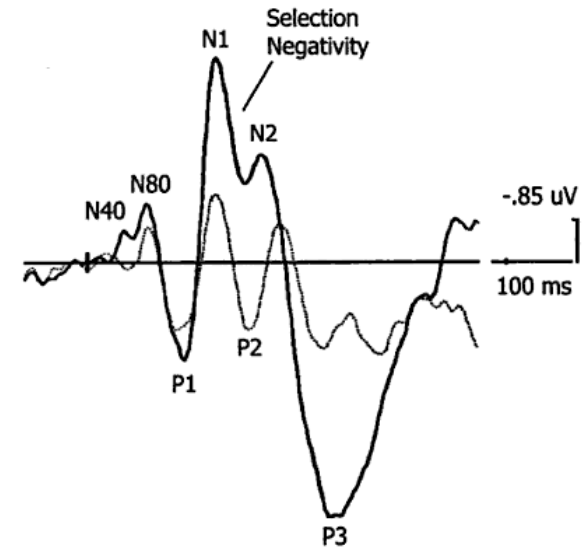
Distribuzione di voltaggio sullo scalpo



Le componenti ERP

Sono contraddistinte da:

1. Una **lettera** che indica la polarità (N = negativa, P = positiva)
2. Un **numero** che indica la latenza o l'ordine progressivo di comparsa



N.B. Questa classificazione può generare confusione, perché **la latenza e l'ordine di comparsa di un'onda ERP** che rappresenta un certo processo psicofisiologico **possono variare in funzione delle condizioni sperimentali, l'età e lo status clinico del soggetto**

⇒ Lo sperimentatore deve sempre specificare la latenza e l'ampiezza del picco in funzione del sito elettrodo e delle condizioni sperimentali

Le componenti ERP

Tradizionalmente si distinguono in

1. **Precoci** (esogene)

- ▶ Riflettono le **caratteristiche fisiche dello stimolo** e originano dai livelli più periferici del sistema nervoso
- ▶ Sono risposte obbligate
- ▶ A seconda della modalità interessata, si suddividono in PE uditivi, visivi e somatosensoriali

2. **Tardive** (endogene)

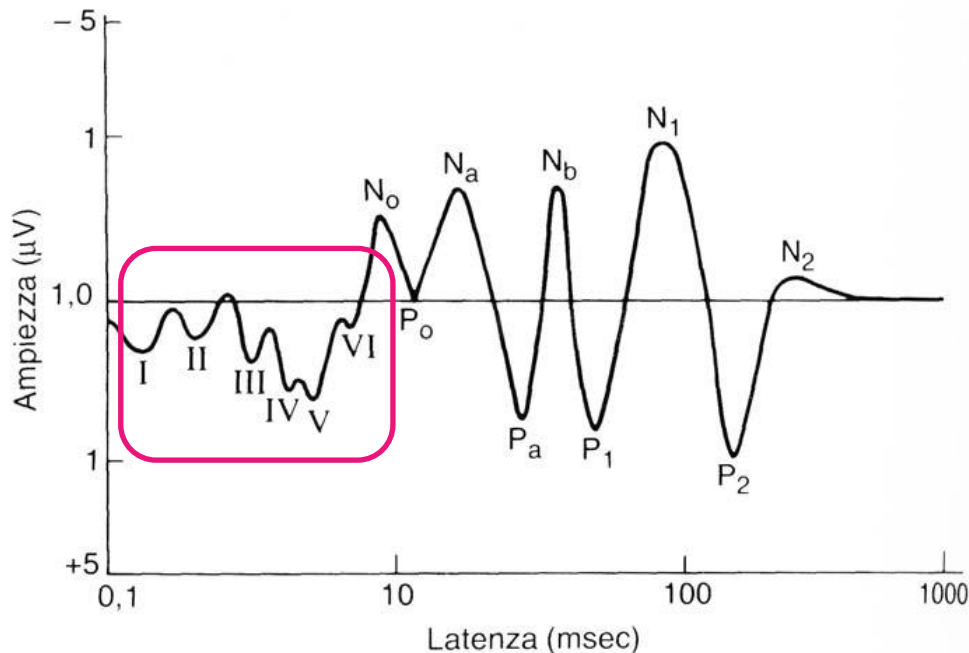
- ▶ Riflettono principalmente l'**elaborazione cognitiva**
- ▶ Manifestazione dei processi di elaborazione dell'informazione che possono essere generate da un evento esterno o interno
- ▶ Possono essere ottenute in tutte le modalità sensoriali

ERP e modelli cognitivi

- ▶ La classificazione “esogene” “endogene” si rifà ai **modelli seriali**
 - ▶ nessuna influenza delle componenti tardive era prevista su quelle precoci e non veniva preso in considerazione alcun tipo di interazione complessa fra le componenti, in linea con l’ipotesi cognitivista di un’indipendenza dei livelli di elaborazione
- ▶ I **modelli paralleli** offrono una nuova chiave interpretativa delle componenti ERP
 - ▶ riconoscimento della natura mista (in parte sensoriale, in parte cognitiva) di componenti che compaiono nella fascia di latenza considerata in precedenza di natura esogena (es. modulazione attentiva di componenti visive precoci)
- ↳ **Modelli seriali**: la nostra conoscenza del mondo e l’interazione con esso vengono realizzate attraverso una serie strettamente sequenziale di trasformazioni dell’informazione (Neisser, 1967)
- ↳ **Modelli paralleli**: i vari livelli di elaborazione procedono in parallelo senza la necessità di dover attendere l’esito del livello di elaborazione precedente per dare inizio allo stadio successivo

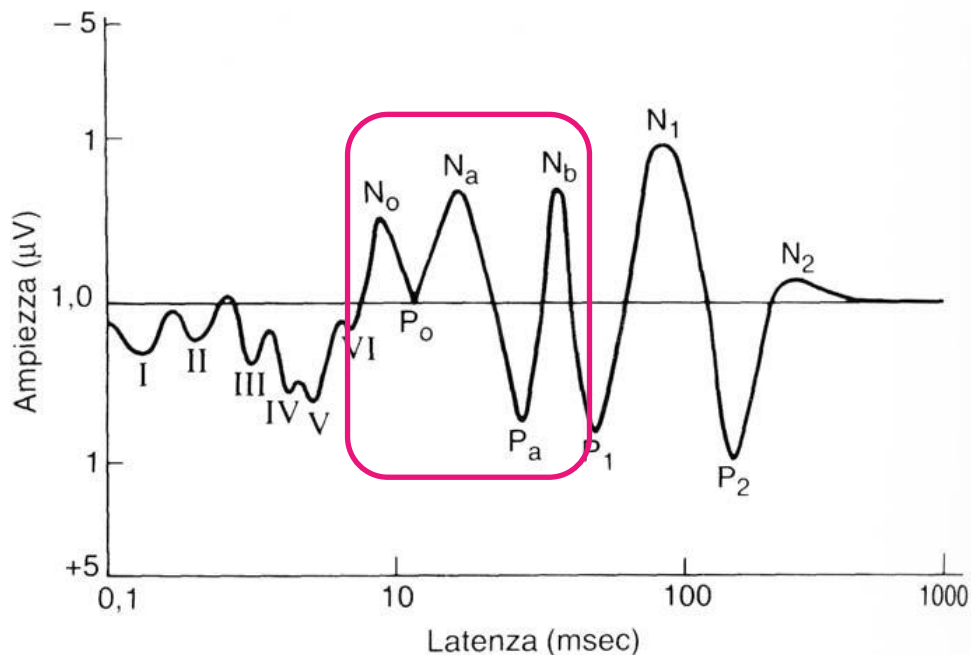
Le principali componenti uditive: I potenziali tronco-encefalici (*Brainstem Potentials*)

- ▶ 6 onde positive identificate da numeri romani crescenti
- ▶ Compaiono 0-10 ms dall'onset dello stimolo
- ▶ Registrate su Cz
- ▶ Riflettono l'attività delle vie acustiche periferiche



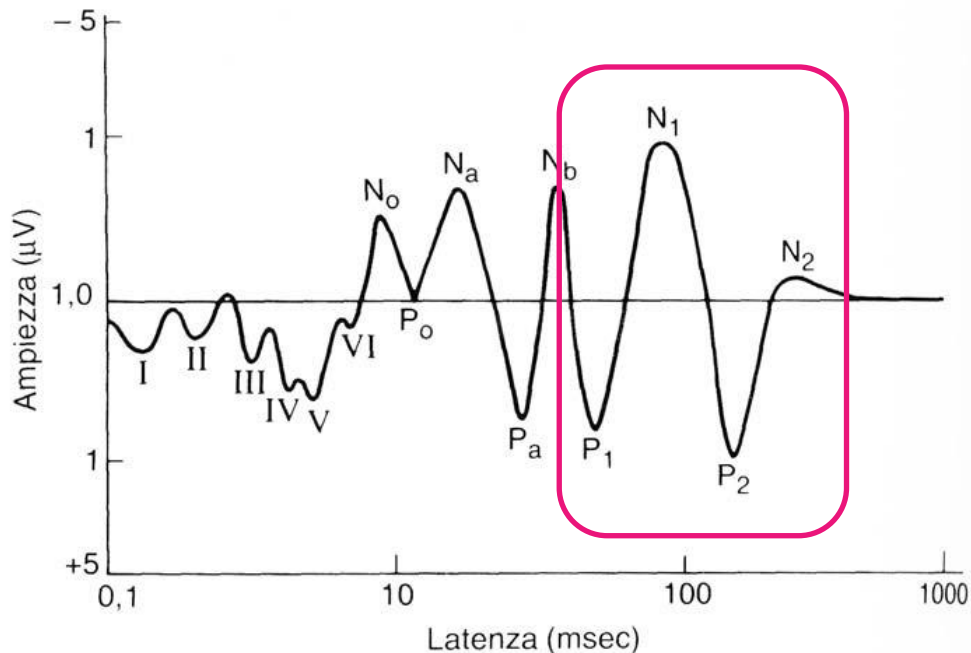
Le principali componenti uditive: Le componenti a latenza media

- ▶ Compaiono 10-60 ms dall'onset dello stimolo
- ▶ Riflettono l'attività delle strutture talamiche (?)



Le principali componenti uditive: Le componenti a latenza lunga

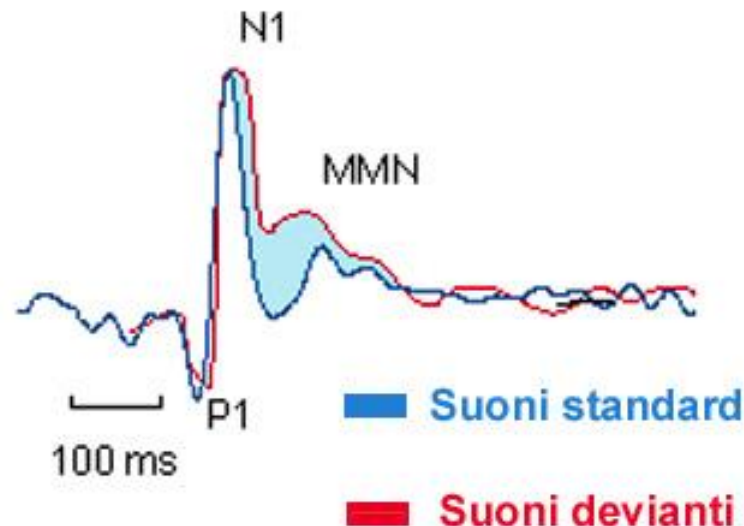
- ▶ Famiglia di componenti che possono avere natura sia endogena che esogena
- ▶ Riflettono l'attività corticale delle aree primarie e associative dei lobi temporale e parietale
- ▶ Riflettono l'analisi delle caratteristiche fisiche dello stimolo (registro sensoriale)



Le principali componenti uditive: La Mismatch Negativity (MMN)

- ▶ Rappresenta la risposta ad ogni cambiamento discriminabile di qualche aspetto ripetitivo della stimolazione acustica (memoria sensoriale uditiva)
- ▶ Ha una latenza media di 100-200 ms
- ▶ Riflette l'accuratezza dell'elaborazione uditiva centrale
- ▶ Può essere evocata in assenza di attenzione (utilità clinica)

ERP uditivi a stimoli standard e devianti



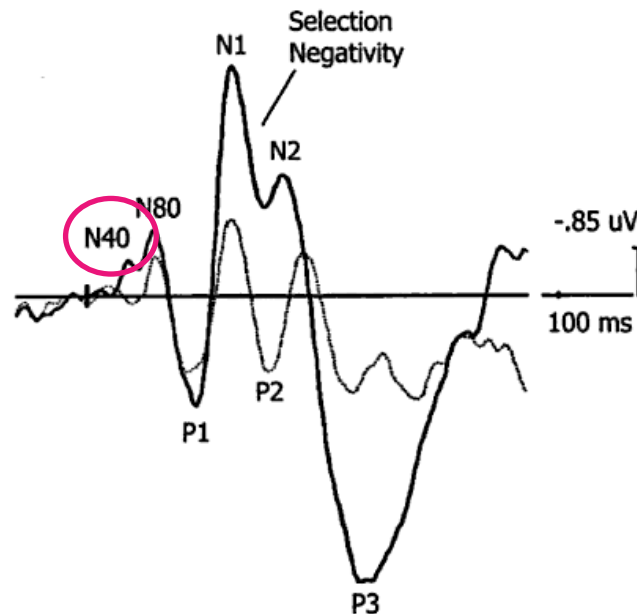
Le principali componenti uditive: La Mismatch Negativity (MMN)

E' sensibile a stimoli acustici di varia natura

- ▶ Suoni semplici (click o toni puri)
- ▶ Suoni complessi (accordi o frasi musicali)
Indice di musicalità o esperienza musicale
- ▶ Fonemi della lingua madre

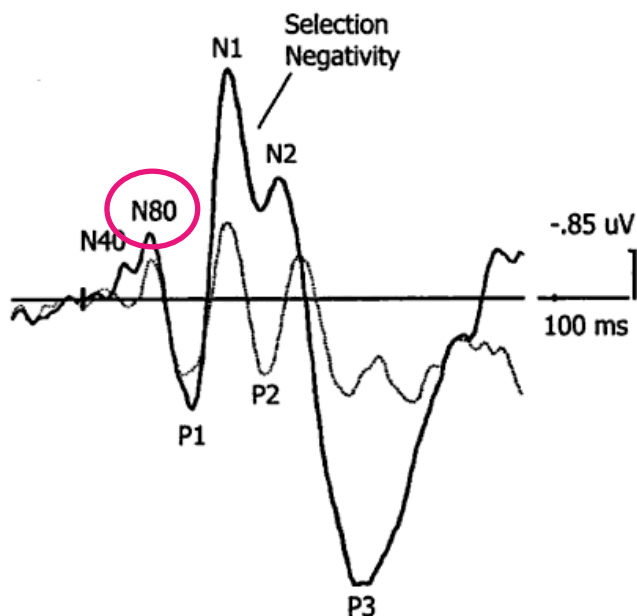
Le principali componenti visive: N40

- ▶ Non sempre è osservabile (ottimo rapporto segnale/rumore)
- ▶ Riflette lo stadio di analisi sottocorticale (probabilmente talamico)



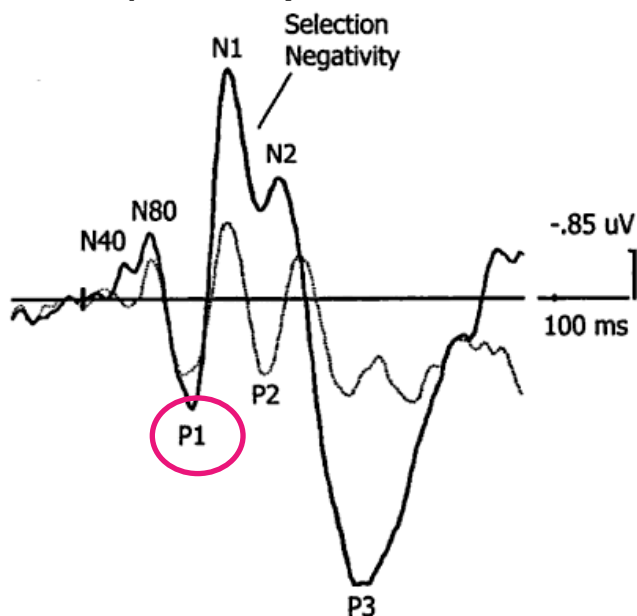
Le principali componenti visive: P/N80 o C1

- ▶ Riflette lo stadio di analisi visiva a livello di V1
- ▶ La latenza e l'ampiezza varia in funzione della frequenza spaziale dello stimolo, del quadrante di stimolazione, luminanza, contrasto, ampiezza del campo visivo, colore, orientamento
- ▶ Hp: riflette l'attività del sistema parvocellulare (analisi del colore e di pattern ad alta frequenza)



Le principali componenti visive: P1 (100-140 ms)

- ▶ Riflette lo stadio di analisi visiva a livello della corteccia extra-striata
- ▶ La latenza e l'ampiezza varia in funzione della frequenza spaziale dello stimolo, del quadrante di stimolazione, luminanza, contrasto, ampiezza del campo visivo, colore, orientamento
- ▶ Hp: riflette l'attività del sistema magnocellulare (pattern acromatici a bassa frequenza)



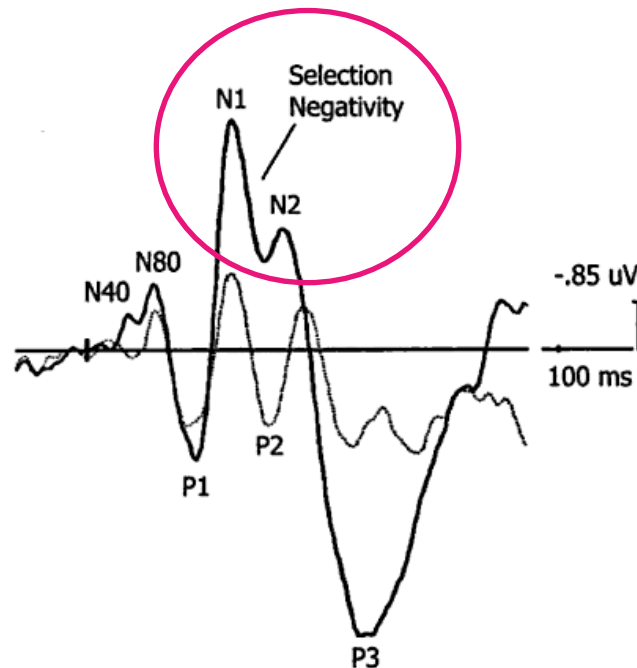
Le principali componenti visive: N1 e N2 (150-300 ms)

- ▶ Attenzione selettiva verso una determinata caratteristica dello stimolo visivo
(*Selection Negativity* o *Processing Negativity*)

Es. Compito di rilevazione della lettera **s**

"Ca**s**a" evoca la SN

"Cane" non evoca la SN



La P300

- ▶ Può essere ottenuta in tutte le modalità sensoriali e in diversi contesti/compiti
- ⇒ La latenza, la distribuzione topografica dipendono dal contesto che la elicit

“famiglia di componenti”

- ▶ Compare a partire da 250 ms dopo la presentazione dello stimolo
- ▶ Ha una stretta relazione con il contenuto informativo/semantico dello stimolo

La P300

P3a

- ▶ Prevalente sulle zone **frontali**
- ▶ Compare in risposta a **novità inaspettate**, suggerendo un riflesso di orientamento da parte dell'individuo

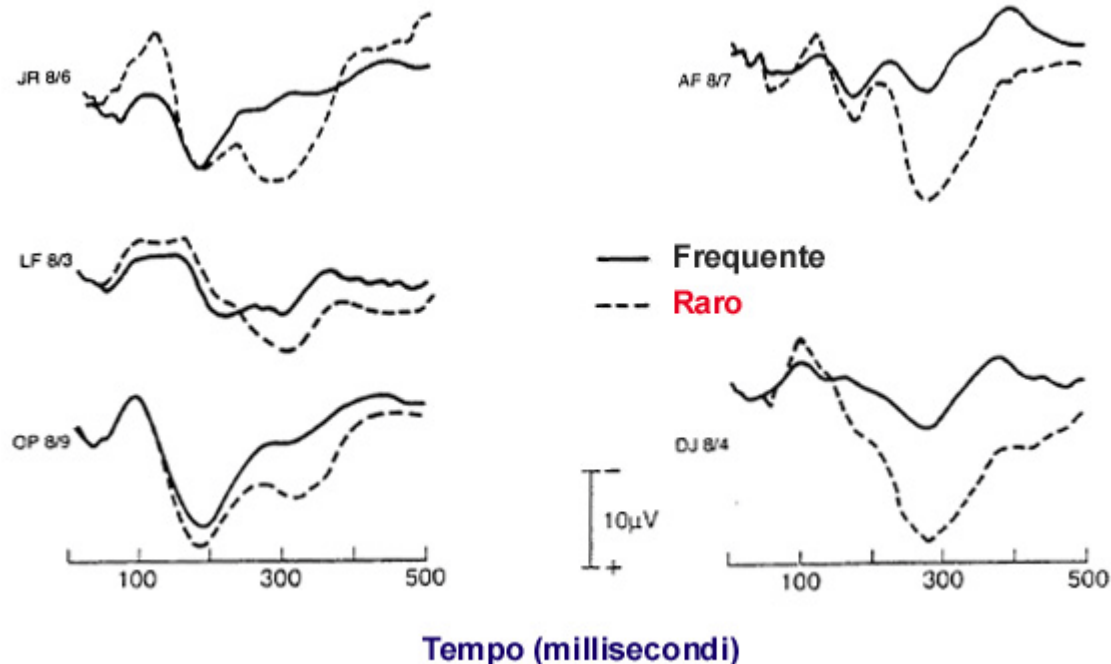
P3b

Slow Wave (600-700 ms)

- ▶ Prevalente sulle zone **parietali**
- ▶ Compare in risposta a **stimoli**, anche **noti**, di **scarsa probabilità di comparsa** che richiedono una reiterazione del processo di categorizzazione

La P300: P3b

- ▶ Compare in risposta a stimoli rilevanti ma rari
- ▶ **Oddball task**: rispondere al più raro di una serie di stimoli



La P300

Più in generale ...

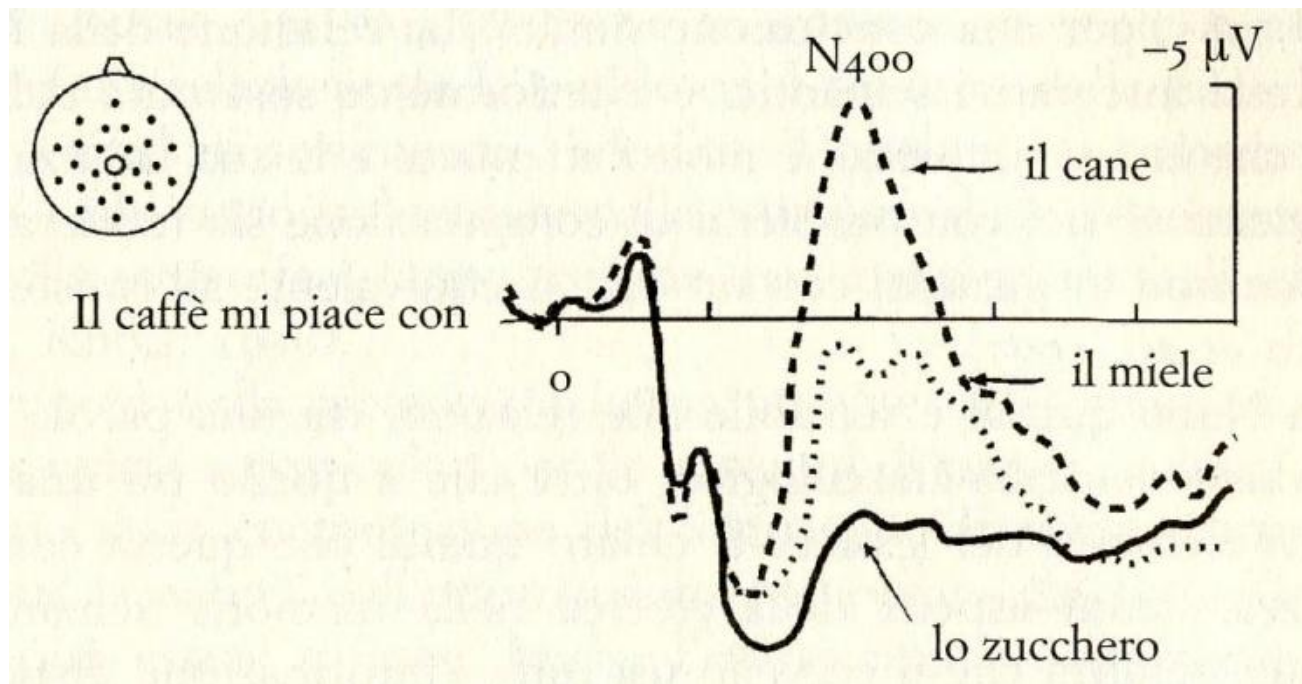
- ▶ Riflette il risultato del confronto dello stimolo con il modello interiore di esso immagazzinato in MBT (**aggiornamento cognitivo contestuale** del modello interno) per estrarre i connotati rilevanti per il compito in cui l'individuo è impegnato
- ▶ Dipende dall'esperienza passata e contingente, dalle aspettative dell'individuo e dai processi di valutazione semantica dello stimolo
- ▶ È espressione del livello di discriminabilità dello stimolo, nel senso che è funzione del livello di certezza a posteriori di aver correttamente percepito e interpretato lo stimolo

La N400

- ▶ Rappresenta un indice generale della
 - ▶ Difficoltà di recupero di conoscenze concettuali immagazzinate associate ad uno stimolo dotato di significato
 - ▶ Difficoltà di integrazione del significato dello stimolo in entrata con il contesto semantico precedente
- ▶ È stata descritta per la prima volta nel contesto dell'elaborazione di frasi, ma studi recenti dimostrano che può essere elicitata da stimoli non linguistici (immagini dotate di significato)

La N400

- ▶ Nel paradigma classico ai soggetti è presentata una frase in cui l'ultima parola varia rispetto alla probabilità di chiusura (**cloze probability**) della frase stessa



Il problema della localizzazione

- ▶ Si potrebbe pensare che la sorgente elettrica è sotto l'elettrodo che mostra il segnale più intenso ... Tuttavia
- ▶ Le sorgenti elettriche del cervello generano una distribuzione di potenziale di natura dipolare
 - ⇒ i minimi e i massimi della distribuzione del potenziale non necessariamente coincidono con la posizione della sorgente
- ▶ Se c'è più di una sorgente attiva simultaneamente, il massimo di una sorgente potrebbe essere cancellato dal minimo di un'altra

Il problema della localizzazione

- ▶ La **conduttività del mezzo** (capo) fa sì che l'attività elettrica neuronale localizzata si diffonda a tutto il volume, quindi se nel cervello c'è più di una sorgente attiva simultaneamente, ogni elettrodo misura il contributo di tutte le sorgenti
- ▶ Per separare le sorgenti, è importante studiare la diffusione della conduttanza in base al volume

→ **Problema diretto**

Il problema della localizzazione: il problema diretto

Modello multi-sferico

Il capo è considerato come una sfera composta da diversi compartimenti concentrici caratterizzati da specifiche conduttività

- ▶ Materia bianca
- ▶ Materia grigia corticale
- ▶ Fluido cerebrospinale
- ▶ Cranio
- ▶ Cute

Il problema della localizzazione

- ▶ Ad ogni distribuzione dei segnali EEG sul capo si associano numerose possibili origini o sedi generatrici di corrente nel cervello

↳ **Problema inverso**

- ▶ Consiste nello stabilire la sede cerebrale delle correnti elettriche a partire dalla distribuzione dei segnali EEG misurati sullo scalpo

Il problema della localizzazione: il problema inverso

- ▶ Per produrre una soluzione al problema inverso, i modelli attuali impongono delle restrizioni nelle ipotesi di partenza
- ▶ Si assume che le sorgenti elettriche cerebrali possano essere descritte mediante
dipoli elettromagnetici
- ▶ Il dipolo elettromagnetico (una carica positiva posizionata a una certa distanza da una carica negativa) è un tipo semplice di sorgente che produce campi molto simili a quelli originati da un gruppo di neuroni piramidali

Il problema della localizzazione: il problema inverso

- ⇒ La serie di soluzioni possibili si riduce, perché per ogni dipolo si hanno solo 6 parametri non noti (3 di posizione, 2 che ne fissano l'orientamento, 1 che ne fissa la forza)
- ▶ La stima dei parametri è fondata sul criterio matematico dei **quadrati minimi** (*least squares*)
- ➔ Si ricavano i parametri del dipolo che minimizzano lo scarto (la somma delle deviazioni al quadrato) tra la distribuzione di potenziale ottenuta dal modello e quella effettivamente registrata sullo scalpo

LORETA *(Low Resolution Electromagnetic Tomography)*

- ▶ Algoritmo matematico per modellizzare le sorgenti intracorticali che sottendono le distribuzioni dei potenziali di superficie
- ▶ Piuttosto che stimare dipoli puntuali, LORETA computa l'attività distribuita nel volume cerebrale
 - ▶ Le sorgenti elettriche sono localizzate su ogni punto di una griglia 3D
 - ▶ La forza e la direzione dell'attività su ciascuno di questi punti determina il campo elettromagnetico misurato sullo scalpo
 - ▶ Il modello assume che punti vicini della griglia abbiano una certa probabilità di essere sincronizzati (in termini di forza e orientamento) rispetto a punti lontani
Da un punto di vista fisiologico, la soluzione rende conto del fatto che neuroni vicini hanno una certa probabilità di essere attivi simultaneamente

LORETA

- ▶ La caratteristica di questa soluzione è la sua risoluzione spaziale relativamente bassa
- ▶ La soluzione produce una “immagine sfocata”, conservando la localizzazione dell’attività massima, ma con un certo grado di dispersione

Vantaggi e svantaggi della tecnica

Vantaggi:

- ▶ ottima risoluzione temporale (1-2 ms)
- ▶ basso costo
- ▶ non invasiva

Svantaggi:

- ▶ risoluzione spaziale "limitata"
- ▶ necessità di numerose prove per estrarre i PE
- ▶ artefatti (movimenti oculari)

Applicazioni degli ERP

- ▶ Ricerca: studiare i processi cognitivi normali e patologici (afasia, dislessia, pazienti prefrontali)
- ▶ Clinica: stabilire in modo oggettivo l'integrità funzionale, il livello di compromissione o il grado di maturazione di vie nervose periferiche visive (PEV), uditive (PEA, BAEP, MMN), somatosensoriali (PESS), ma anche di funzioni cognitive superiori

Applicazioni cliniche degli ERP

- ▶ PEV: analisi del nervo ottico e della corteccia visiva (nei pazienti affetti da sclerosi multipla) con elettrodi posizionati sullo scalpo mentre il paziente fissa, prima con un occhio e poi con l'altro, un oggetto (scacchiera) posto al centro di uno schermo
- ▶ MMN: funzionalità uditiva nei neonati, predizione dell'esito del coma, indice di compromissione dell'elaborazione uditiva nell'afasia di Wernicke e nella dislessia

Il laboratorio di Elettrofisiologia Cognitiva

Laboratorio di Metodi di raccolta e analisi di dati morfologici
e funzionali nelle neuroscienze cognitive

Dott.ssa Roberta Adorni

Come prende avvio una ricerca ERP?

- ▶ Analisi della letteratura precedente
- ▶ Individuazione dello scopo dello studio
- ▶ Formulazione dell'ipotesi di ricerca
- ▶ Sviluppo del protocollo sperimentale e elaborazione del paradigma da usare per testare l'ipotesi di ricerca
- ▶ Scelta degli stimoli sperimentali
- ▶ Implementazione della procedura

La selezione degli stimoli sperimentali

- ▶ Il numero di trial necessari per registrare gli ERP è maggiore rispetto a quello richiesto per le misurazioni comportamentali
 - ⇒ non è possibile fare ampie manipolazioni dei parametri degli stimoli
- ▶ L'andamento delle componenti ERP è molto sensibile a piccole variazioni delle proprietà degli stimoli
 - ⇒ È richiesta particolare cura nella selezione degli stimoli
 - ▶ Esempio: lunghezza, frequenza d'uso delle parole, ma anche luminanza, dimensione delle immagini

La selezione dei partecipanti

- ▶ I risultati ERP possono variare in modo importante in funzione delle caratteristiche individuali
- ⇒ quando si usano campioni piccoli è opportuno selezionare partecipanti con caratteristiche sufficientemente omogenee (a scapito della generalizzabilità dei risultati)

- ▶ Sesso
- ▶ Età (18-35 anni)
- ▶ Scolarità
- ▶ Dominanza cerebrale (mano, occhio, piede)
 - ▶ Versione italiana (Salmasso & Longoni, 1985) del questionario *Edinburgh Inventory Questionnaire* (Oldfield, 1971)
- ▶ Funzionalità uditiva/visiva
- ▶ Presenza di danni neurologici, disturbi psichiatrici o storia di epilessia
- ▶ Trattamento con farmaci che agiscono sul sistema nervoso

Gli strumenti del laboratorio ERP

Pasta conduttrice:

stabilisce un contatto fra la superficie dell'elettrodo e la cute

Elettrodo di terra:

minimizza il flusso di correnti di disturbo

Salviettine abrasive:

migliorano il contatto elettrolitico tra elettrodo e cute



Cuffia per la registrazione dell'EEG

Elettrodi di riferimento:

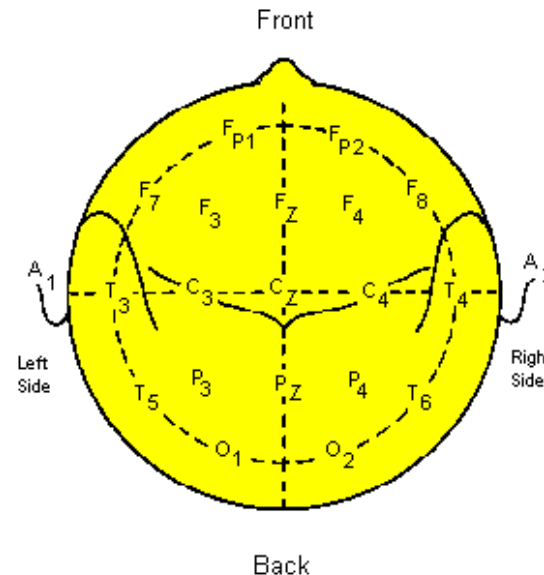
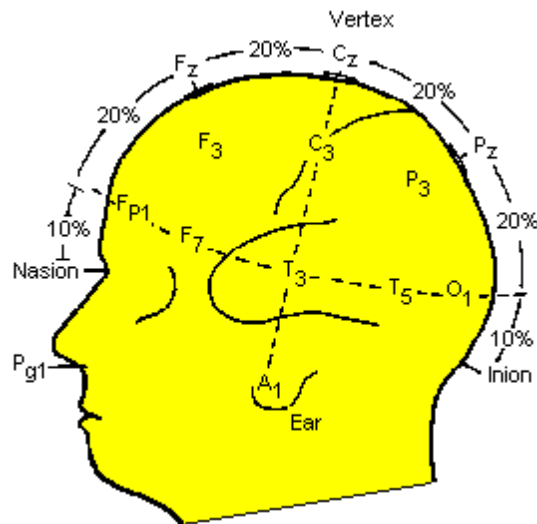
elettrodi elettricamente neutri in riferimento all'attività cerebrale, usati per sottrarre l'attività di base relativa alle funzioni fisiologiche dell'organismo

Il Sistema Internazionale 10-20

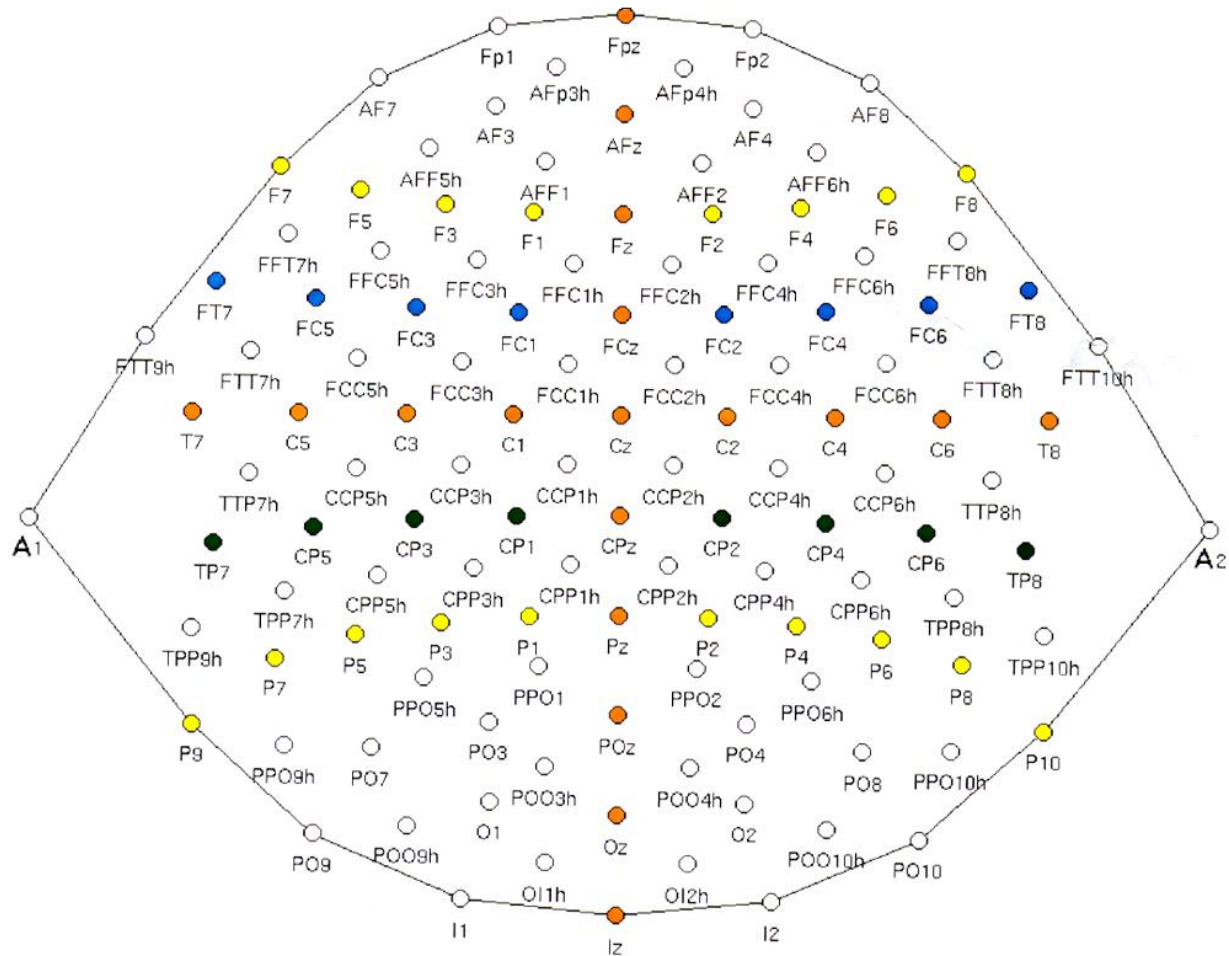
Gli elettrodi vengono posizionati in base a coordinate proporzionali standard

Ciascun elettrodo è definito rispetto:

- ▶ Alla regione cerebrale sottostante
 - ▶ (F=frontale, P=parietale, C=centrale, T=temporale, O=occipitale)
- ▶ Alla linea mediana
 - ▶ (n. pari=emisfero destro, n. dispari=emisfero sinistro, z=elettrodi mediani)



Il Sistema Internazionale 10-5



La preparazione alla registrazione EEG



▶ Dott.ssa Roberta Adorni

La cabina silente (gabbia di Faraday)

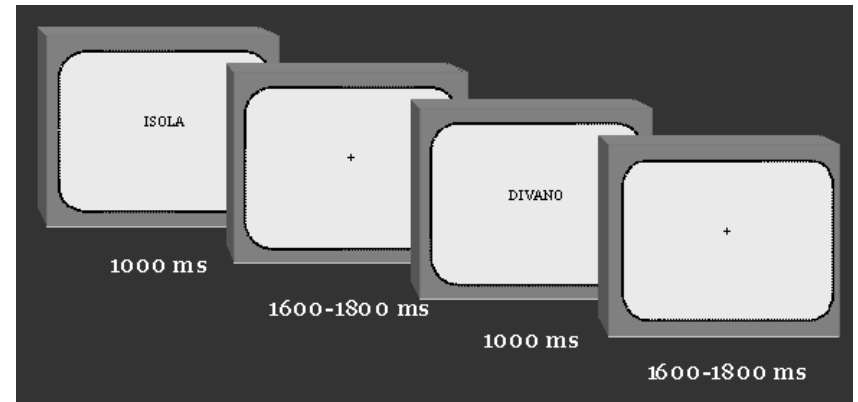
Gabbia di Faraday:
ambiente isolato
elettricamente e
acusticamente



Amplificatore



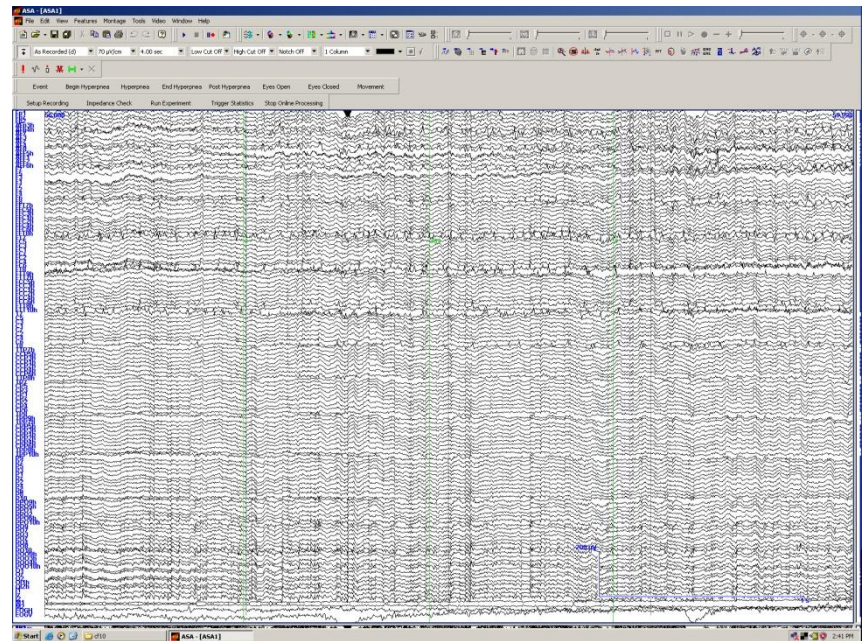
Il compito del volontario



Es. Premere un tasto con il dito indice della mano ogni volta che lo stimolo presentato è una parola esistente e un tasto diverso con il dito medio della stessa mano quando lo stimolo è una pseudo-parola (compito di decisione lessicale)

La registrazione EEG on-line

- ▶ Mentre il volontario svolge il compito sperimentale, si registra:
 - ▶ Il tracciato EEG
 - ▶ I tempi di risposta
 - ▶ Gli errori
- ▶ In funzione delle categorie sperimentali, attribuendo cioè un codice numerico ad ogni categoria stimolo
 - Es. parole esistenti → codice 10
 - pseudo-parole → codice 20



L'analisi dei dati off-line: ERP

Gli elettrodi rilevano indiscriminatamente sia i segnali bioelettrici sia segnali estranei all'attività cerebrale che si sovrappongono ad essa

↳ **Artefatti**

- ▶ movimenti oculari (ammiccamenti e movimenti orizzontali)
- ▶ masticazione o deglutizione
- ▶ elettromiogramma (contrazione dei muscoli)
- ▶ movimenti del corpo
- ▶ elettrocardiogramma
- ▶ sudorazione
- ▶ movimenti dell'elettrodo/corrente alternata

L'analisi dei dati off-line: ERP

1. **Filtraggio** del segnale EEG

esclusione delle frequenze irrilevanti per la misurazione (aiuta ad incrementare il rapporto segnale-rumore)

2. **Reiezione degli artefatti**

esclusione delle porzioni di tracciato EEG contaminate da attività elettrica estranea all'EEG

L'analisi dei dati off-line

3. Scomposizione in **epoche discrete**:

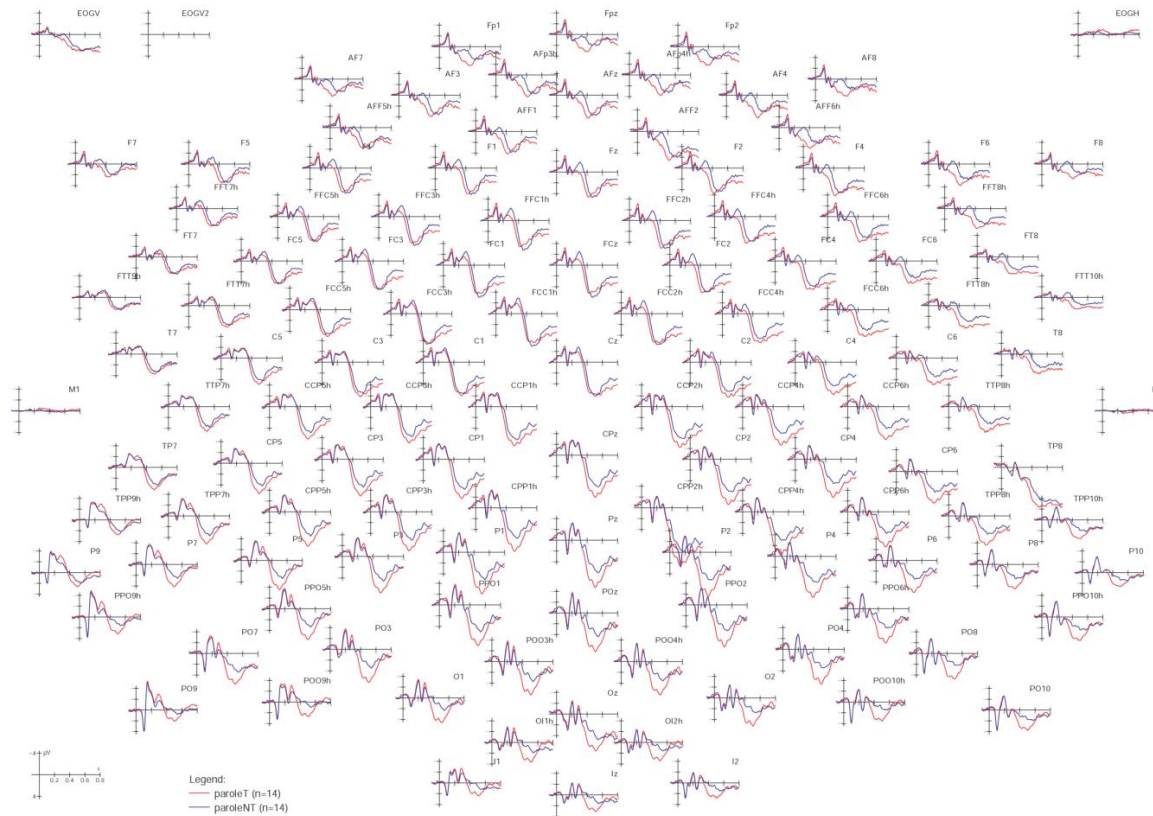
- ▶ Sincronizzazione dell'epoca con l'onset dello stimolo
si fa corrispondere il punto 0 con la comparsa dello stimolo
- ▶ Individuazione della linea di base
si calcola il valore medio dell'EEG in una determinata finestra temporale che precede lo stimolo (-100/0 ms)
Baseline: rappresenta il valore di ampiezza della risposta nervosa relativo ad una condizione neutra o di riposo. Viene considerata una risposta di ampiezza pari a 0 e ogni variazione di potenziale viene misurata comparativamente ad essa
- ▶ Definizione della finestra temporale di interesse per il computo degli ERP (0/1000 ms dall'onset dello stimolo)

4. Calcolo delle medie (**Averaging**) in funzione della categoria-stimolo:

- ▶ Parole
- ▶ Pseudo-parole

Le grandi medie ERP

- ▶ Ultimata la registrazione e l'analisi dei dati dei singoli partecipanti si mediano i dati di tutti i partecipanti, ottenendo un'unica **grande media ERP** per ogni categoria stimolo



L'analisi dei dati ERP sul gruppo di partecipanti

- ▶ Si individua la componente ERP di interesse
- ▶ Si scelgono
 - ▶ la finestra temporale
 - ▶ i siti elettroodici su cui effettuare la misurazione
- ▶ Si valuta se misurare
 - ▶ **Ampiezza media** della componente in una determinata finestra temporale, oppure
 - ▶ **Latenza** e **ampiezza del picco**
- ▶ Si procede alla misurazione della componente per ogni categoria-stimolo e per ogni partecipante

L'analisi statistica sul gruppo di partecipanti

Dati ERP: ANOVA

- ▶ Ampiezza media in una determinata finestra temporale
- ▶ Latenza e ampiezza del picco

Dati comportamentali: ANOVA

- ▶ TR
- ▶ Accuratezza

Esempio: L'effetto di concretezza delle parole

- ▶ I nomi concreti differiscono dai nomi astratti nella misura in cui si riferiscono a concetti che possono essere esperiti con i sensi, mentre i nomi astratti sembrano in gran parte derivare il loro significato dalle associazioni con altre parole
- ▶ Sebbene molti studi abbiano mostrato che le parole astratte e le parole concrete sono elaborate in modo diverso dal sistema cognitivo, la natura di questa differenza rimane oggetto di dibattito

Scopo dell'esperimento

- ▶ Le conoscenze concettuali relative alle entità concrete sono almeno in parte immagazzinate in termini di conoscenza percettiva basata sui sensi oltre che in termini di conoscenze strettamente linguistiche? (*Dual-Coding Theory*, Paivio, 1991; *Context-Availability Model*, Bransford & McCarrell, 1974; Schwanenflugel, 1991)

Partecipanti

15 studenti universitari italiani (8 maschi)

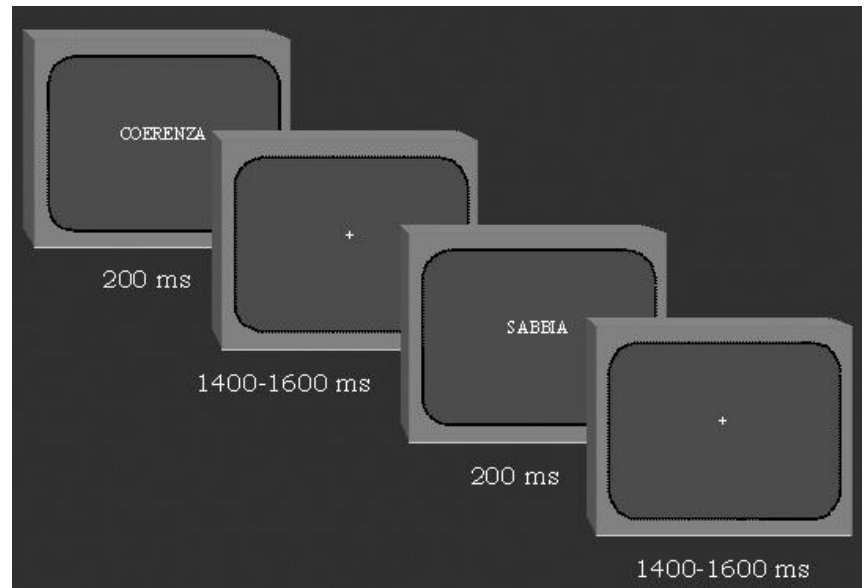
- ▶ Destrimani (Salmaso & Longoni, 1985)
- ▶ Età compresa fra 19-28 anni (M: 25; DS: 2.3)
- ▶ Vista normale
- ▶ Senza disturbi neurologici precedenti

Stimoli e Procedura

Stimoli:

- ▶ 300 parole (150 astratte, 150 concrete)
- ▶ 300 pseudo-parole

Compito di decisione lessicale



Bilanciamento degli stimoli

▶ Lunghezza (6-10 lettere)

(Astratte = 7.63; DS = 1.09; Concrete = 7.56; DS = 1.11; Pseudo-parole = 7.61; DS = 1.09)

▶ Frequenza d'uso (Bertinetto e coll., 2006)

(Astratte = 51.88; DS = 43.45; Concrete = 45.11; DS = 46.83)

▶ Familiarità

(Astratte = 4.57; DS = 0.16; Concrete = 4.61; DS = 0.17)

▶ Valore d'immagine

[$t(298) = -40.03$; $p < 0.00$; Astratte = 2.72; DS = 0.48; Concrete = 4.67; DS = 0.35]

▶ Concretezza

[$t(298) = -64.34$; $p < 0.00$; Astratte = 2.33; DS = 0.42; Concrete = 4.84; DS = 0.23]

I criteri adottati per la costruzione dei questionari erano basati sui dati presentati da Paivio e coll. (1968), Gilhooly e Logie (1980), Snodgrass e Vanderwart (1980), Barca e coll. (2002)

Analisi dei dati

ANOVA per misure ripetute

TR e Accuratezza

- ▶ Categoria linguistica (3 livelli: parole astratte, parole concrete, pseudo-parole)
- ▶ Mano usata per rispondere (2 livelli: destra e sinistra)

Ampiezza media delle componenti ERP

- ▶ Categoria linguistica (3 livelli: parole astratte, parole concrete, pseudo-parole)
- ▶ Elettrodo
- ▶ Emisfero cerebrale (2 livelli: sinistro e destro)

Componente ERP	Latenza (ms)	Siti
N2 occipitale laterale	300-400	PO9 - PO10 P9 - P10
N2 occipitale mediale	350-380	Iz OI1h - OI2h
LP anteriore	370-570	AFF1 - AFF2 AFp3h-AFp4h

LORETA (*Low Resolution Electromagnetic Tomography*, Pasqual-Marqui e coll., 1994)

N2 occipitale laterale (300-400 ms)

↳ Effetto lessicale (emisfero sinistro)

Interazione Categoria linguistica X Emisfero

$F_{2,28}=14.551$; $p<.001$

Post-hoc (LH):

Astratte vs. Pseudo-parole $p<.001$

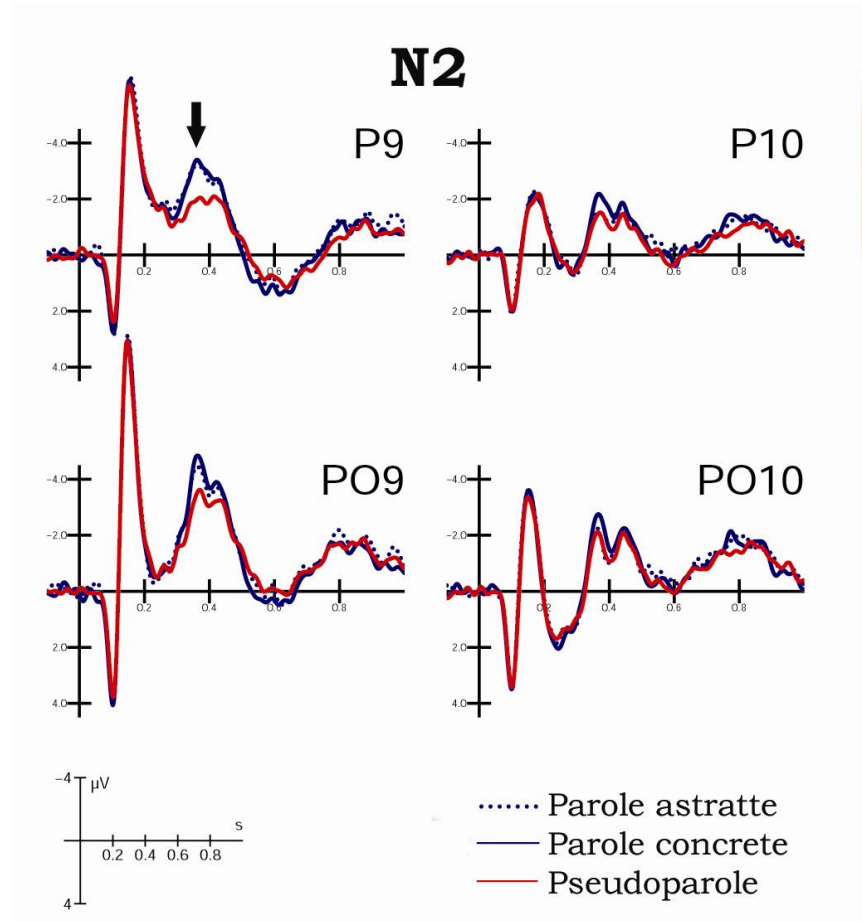
Concrete vs. Pseudo-parole $p<.001$

Astratte vs. Concrete n.s.

Effetto della familiarità visiva delle parole

Accesso al lessico tramite una via visiva

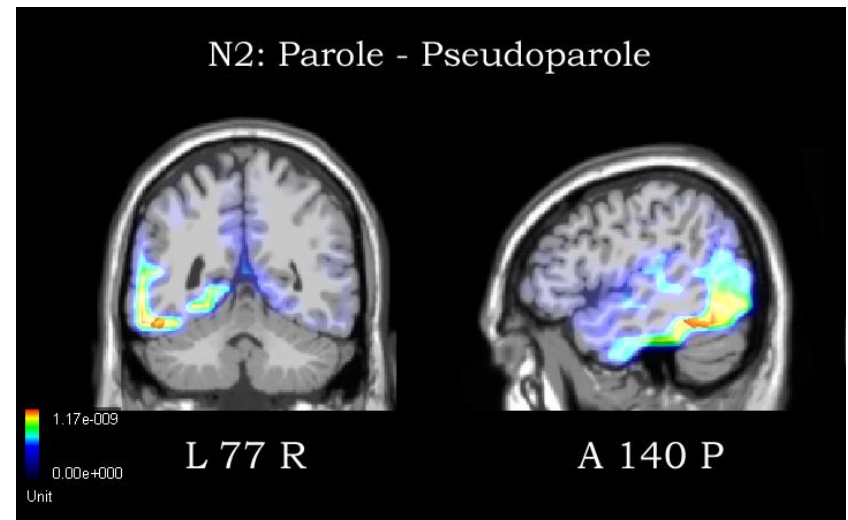
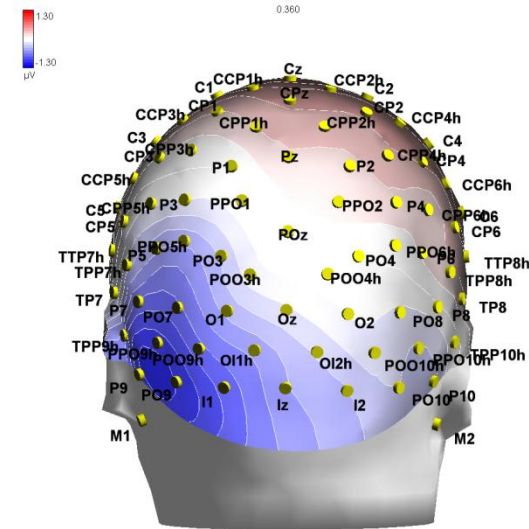
(Hauk & Pulvermüller, 2004; Hauk e coll., 2006)



N2 occipitale laterale (300-400 ms)

↳ Effetto lessicale (emisfero sinistro)

- ▶ Attivazione della via ventrale dell'emisfero sinistro (BA 37)
- ▶ Alcuni autori hanno identificato un'area lungo il giro fusiforme, sensibile al contenuto lessicale-semantiche delle parole (Cohen e coll., 2000; Proverbio & Adorni, 2008)
- ▶ Hp: questa regione potrebbe corrispondere al lessico ortografico di input del modello DRC (Assadollahi & Rockstroh, 2005; Dien, 2009)



N365 visiva (350-380 ms)

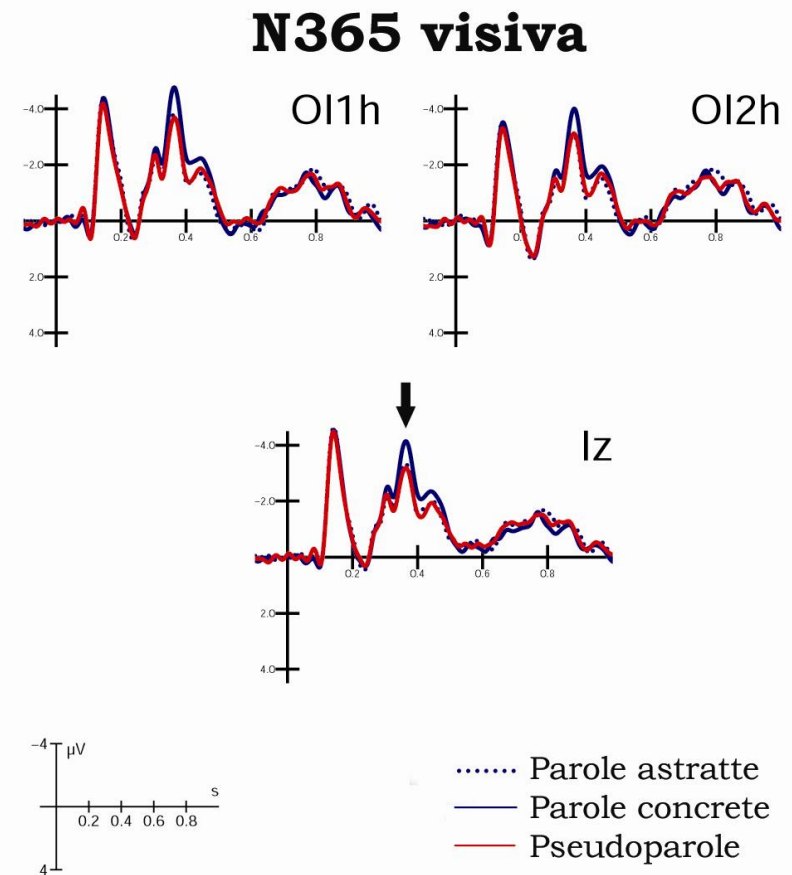
↳ Effetto concretezza

Effetto Categoria linguistica

$F_{2,28} = 10.46$; $p < 0.001$

Post-hoc

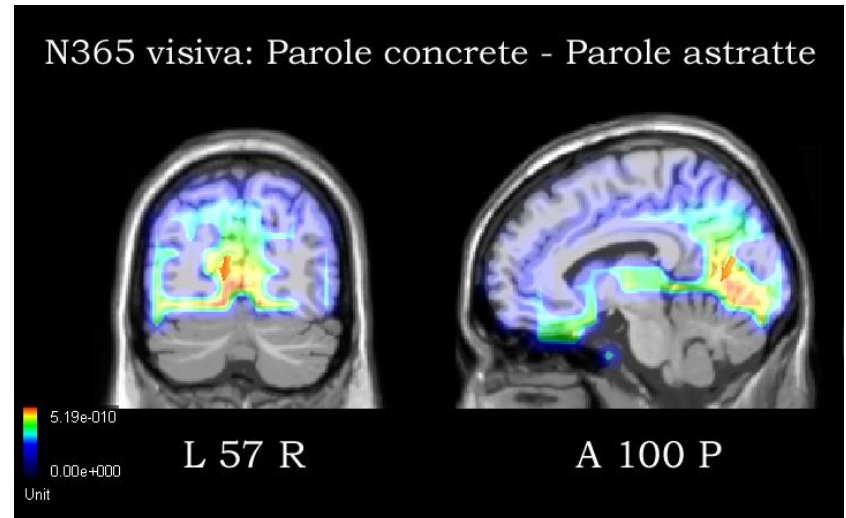
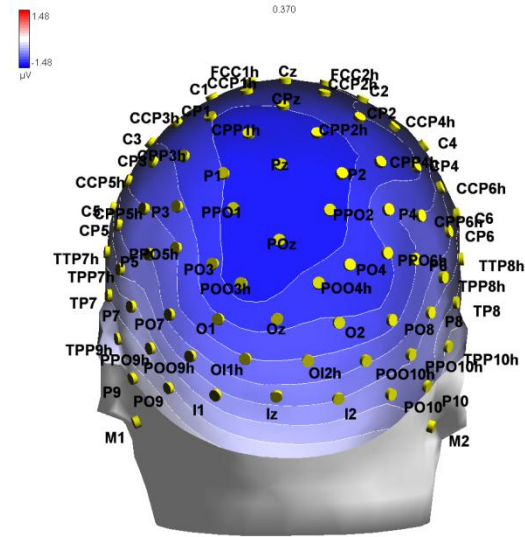
- ▶ Concrete vs. Astratte: $p < 0.005$
- ▶ Concrete vs. Pseudo-parole: $p < 0.005$
- ▶ Astratte vs. Pseudo-parole : n.s.



N365 visiva (350-380 ms)

↳ Effetto concretezza

- ▶ Attivazione delle regioni occipitali dell'emisfero sinistro (BA 18 e BA 19) e delle regioni temporali mediali bilateralmente (BA 21 e 22)
- ▶ Maggior coinvolgimento delle aree visive extra-striate nei processi di elaborazione delle caratteristiche semantiche associate alle parole concrete, forse a causa del più alto valore d'immagine (Sabsevitz e coll., 2005; Cui e coll., 2007)



P3 anteriore (370-570 ms)

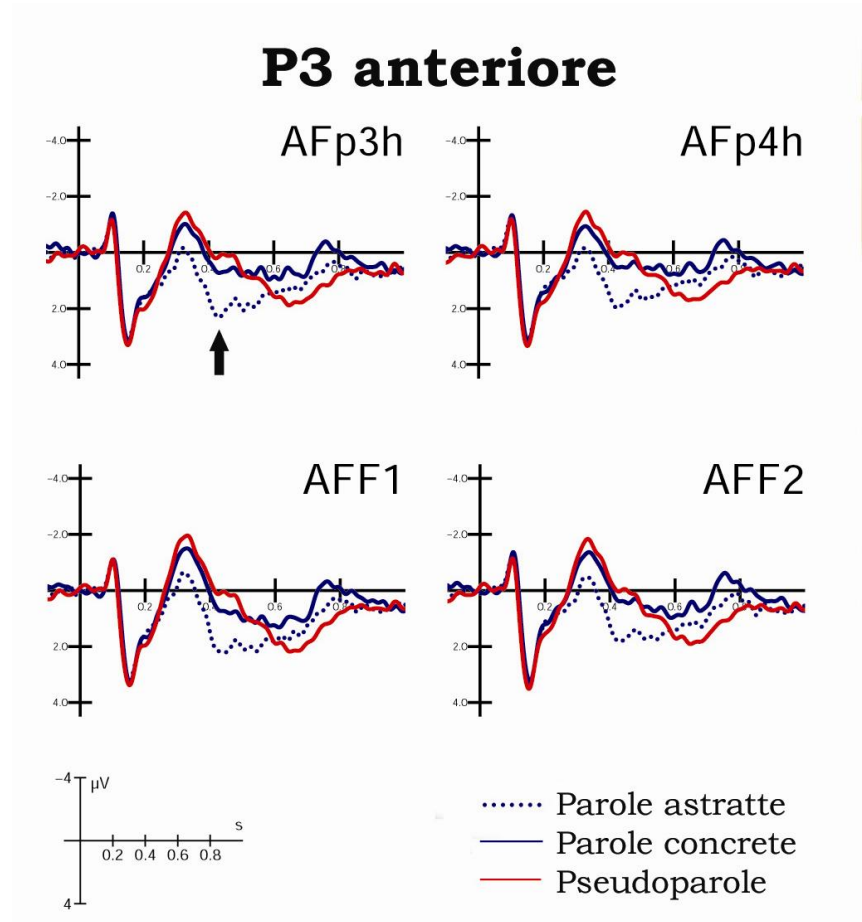
↳ effetto concretezza

Effetto Categoria linguistica

$F_{2,28} = 14.10$; $p < 0.001$

Post-hoc

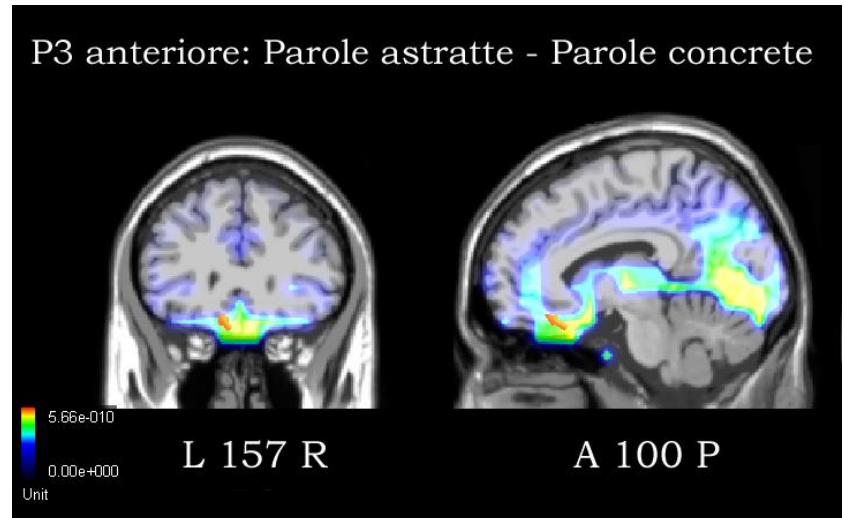
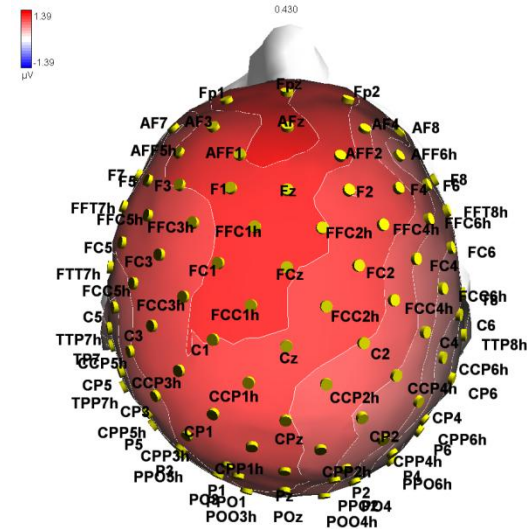
- ▶ Astratte vs. Concrete: $p < 0.005$
- ▶ Astratte vs. Pseudo-parole: $p < 0.001$
- ▶ Concrete vs. Pseudo-parole: n.s.



P3 anteriore (370-570 ms)

↳ effetto concretezza

- ▶ Attivazione della regione prefrontale
- ▶ L'attivazione della corteccia prefrontale è stata associata a processi di controllo top-down della memoria semantica
- ▶ Hp: le parole astratte potrebbero richiedere processi di elaborazione più controllati, a fronte di un'elaborazione più automatica delle parole concrete e delle pseudo-parole



Tempi di risposta

