

**Università degli Studi di Milano – Bicocca**  
**Dipartimento di Psicologia**  
**Dottorato di ricerca in Psicologia Sperimentale, Linguistica e**  
**Neuroscienze Cognitive XXI Ciclo**



**DINAMICHE ELETTROFISIOLOGICHE NELLA LETTURA  
DI PAROLE: DALL'ANALISI ORTOGRAFICA  
AI PROCESSI DI ELABORAZIONE SEMANTICA**

**Tutor: Prof.ssa Alice MADO PROVERBIO**

**Tesi di Dottorato di:**  
**Roberta ADORNI**  
**Matricola R00750**

**Anno Accademico 2008/2009**

<b>Indice</b>	<b>I</b>
<b>Riassunto</b>	<b>III</b>
<b>Abstract</b>	<b>IV</b>
<b>1. Gli scopi del presente lavoro</b>	<b>1</b>
<b>2. Il contesto teorico di riferimento</b>	
2.1. L'elaborazione ortografico-lessicale degli stimoli linguistici	4
2.2. L'elaborazione semantica degli stimoli linguistici: gli effetti della categoria	8
2.3. L'elaborazione semantica degli stimoli linguistici: gli effetti di concretezza	11
<b>3. Esperimento 1: l'analisi ortografico-lessicale delle parole</b>	
3.1. Introduzione	14
3.2. Metodo	18
3.2.1. Partecipanti	18
3.2.2. Stimoli e Procedura	18
3.2.3. Registrazione EEG	20
3.2.4. Analisi dei dati	21
3.3. Risultati	22
3.3.1. Risultati comportamentali	22
3.3.2. Risultati elettrofisiologici: il ruolo della legalità ortografica e della familiarità visiva	23
3.3.3. Risultati elettrofisiologici: le dinamiche temporali dell'elaborazione lessicale	28
3.4. Discussione	31
<b>4. Esperimento 2: i nomi di animali e di vegetali</b>	
4.1. Introduzione	36
4.2. Metodo	38
4.2.1. Stimoli	39
4.2.2. Analisi dei dati	39
4.3. Risultati	40
4.3.1. Risultati comportamentali	40
4.3.2. Risultati elettrofisiologici	40
4.4. Discussione	45
<b>5. Esperimento 3: la concretezza delle parole</b>	
5.1. Introduzione	51
5.2. Metodo	55
5.2.1. Partecipanti	55
5.2.2. Stimoli e Procedura	56
5.2.3. Analisi dei dati	58
5.3. Risultati	58

5.3.1. Risultati comportamentali	58
5.3.2. Risultati elettrofisiologici	59
5.4. Discussione	65
<b>6. Esperimento 4: il ruolo del compito</b>	
6.1. Introduzione	72
6.2. Metodo	74
6.2.1. Partecipanti	74
6.2.2. Stimoli e Procedura	74
6.2.3. Analisi dei dati	75
6.3. Risultati	75
6.3.1. Risultati comportamentali	75
6.3.2. Risultati elettrofisiologici	76
6.4. Discussione	79
<b>7. Conclusioni</b>	<b>83</b>
<b>Parole chiave</b>	<b>87</b>
<b>Appendice</b>	<b>88</b>
<b>Riferimenti bibliografici</b>	<b>98</b>

## Riassunto

Gli scopi del progetto di dottorato erano molteplici. Si volevano indagare i meccanismi neurali associati ai processi di lettura di parole isolate e il decorso temporale dell'elaborazione lessicale confrontando l'attività bioelettrica evocata da stimoli con diversi gradi di legalità ortografica (stringhe di lettere, pseudoparole legali e parole) e di denotazione semantica (nomi di animali vs. vegetali; parole concrete vs. astratte). Un particolare sforzo era volto all'esclusione di possibili effetti confondenti legati alle variabili psicolinguistiche che influenzano i processi di elaborazione delle parole scritte. La localizzazione del generatore intracorticale aveva lo scopo di trarre inferenze sulle regioni cerebrali coinvolte nelle diverse fasi di accesso alle informazioni linguistiche, nell'ottica di integrare le conoscenze derivanti dagli studi di neuroimmagine con l'approccio tipico degli studi elettrofisiologici. I nostri risultati suggeriscono che le proprietà ortografiche e lessico-semantiche delle parole siano elaborate in parallelo in una finestra temporale compresa fra 200 e 400 ms dall'onset dello stimolo. La regione temporo-parietale ha dimostrato una sensibilità alla legalità ortografica (250-350 ms). La latenza dell'effetto lessicale (discriminazione parola/pseudoparola) variava in funzione del numero di vicini ortografici, essendo più precoce (200-250 ms) per le pseudoparole con pochi vicini sui siti di registrazione anteriori. L'effetto lessicale registrato sulla regione occipito-temporale sinistra (300-400 ms, BA 19 e BA37) suggeriva un accesso al lessico tramite una via visiva. Le parole appartenenti alle due categorie semantiche erano discriminate a partire da 200 ms sulle regioni occipito-temporali dell'emisfero sinistro (BA 37 e BA 20). I risultati sono stati discussi alla luce dell'ipotesi che, accanto alle caratteristiche specifiche dei concetti, come l'omomorfia e la valenza biologica, l'età di acquisizione delle parole possa aver giocato un ruolo significativo nei processi di accesso alle proprietà lessicali dei nomi di animali e di vegetali. L'elaborazione delle parole astratte e concrete differiva in termini di un maggior coinvolgimento delle aree visive extrastriate nei processi di elaborazione delle parole concrete (350-380 ms) e della corteccia prefrontale in risposta alle parole astratte (370-570 ms), suggerendo che le conoscenze concettuali relative alle entità concrete potrebbero essere, almeno in parte, immagazzinate in termini di conoscenza percettiva. In generale, i risultati suggeriscono come gli ERP consentano di dissociare i processi di elaborazione ortografico-lessicale da processi di più alto livello. L'elaborazione semantica potrebbe avvenire a stadi sorprendentemente precoci, quasi simultaneamente e in regioni cerebrali distinte da quelle coinvolte nei processi di elaborazione relativi alla forma visiva e alle proprietà lessicali delle parole. I nostri risultati rappresentano una prova a favore dei modelli di lettura che prevedono, accanto a processi di tipo bottom-up, l'esistenza di feedback d'informazione da una rappresentazione di alto livello a un livello più basso d'elaborazione (processi di tipo *top-down*).

## **Abstract**

The purposes of the doctoral thesis were manifold. First of all, we aimed at clarifying the neural underpinnings of single word reading and the time course of lexical processing by comparing the bioelectrical activity elicited by stimuli with different degrees of orthographic legality (letter strings, legal pseudo-words and words) and semantic denotation (flora names vs. fauna names; concrete words vs. abstract words). A strong effort was directed to avoid possible confounding effects of psycholinguistic variables like frequency of occurrence and length, which are known to affect written word processing. Source reconstruction by means of LORETA was aimed to draw inferences on the cerebral regions specifically involved in different processing stages, with the final purpose of integrate current knowledge resulting from neuroimaging and electrophysiological approach. Overall the data provided evidence that the orthographic and lexico-semantic word properties were processed in parallel between 200 and 400 ms after stimulus onset. The temporo-parietal region was sensitive to orthographic legality (250-350 ms). The latency of lexical effects (word/pseudo-word discrimination) varied as a function of the number of a word's orthographic neighbours, being faster (200-250 ms) to pseudo-words with a small number of neighbours over anterior sites. The lexical effect found over the left occipito-temporal region (300-400 ms, BA 19 and BA 37) suggested a lexical access by means of a visual route. Semantic categories were discriminated as early as 200 ms post stimulus over the left occipito-temporal areas (BA 37 and BA 20). The results are discussed in the light of the possible role played by the word age of acquisition, as well as the specific properties of living concepts (biological relevance and homomorphism). Abstract and concrete word processing differed in terms of a stronger involvement of extra-striate visual areas during concrete word processing (350-380 ms) and a stronger involvement of prefrontal cortex in response to abstract words (350-380 ms). The results suggested that concrete, imaginable concepts activate perceptually based representations not available to abstract concepts. Overall, these data show how ERPs can dissociate between lexical and higher level processes. Semantic processing may take place near-simultaneously and in different brain regions with the processing of information about the form of a word and its lexical properties.

## **1 Gli scopi del presente lavoro**

Come verrà descritto ampiamente nei capitoli che seguono, la letto-scrittura rappresenta il primo mezzo di comunicazione tra i popoli usato per la conservazione e la trasmissione d'informazioni. Per questa ragione, i processi di lettura hanno ricevuto e continuano a ricevere grande attenzione da parte della comunità scientifica. Nonostante esista un generale accordo attorno ad alcuni aspetti dei processi di lettura, come l'esistenza di un codice fonologico e di un codice ortografico, alcune questioni fondamentali riguardo alla loro implementazione, la loro importanza relativa e il decorso temporale rimangono oggetto di dibattito. Lo scenario dipinto dai modelli cognitivi e dagli studi condotti nell'ambito delle neuroscienze cognitive è complesso e talvolta controverso. Uno dei maggiori temi d'indagine riguarda il decorso temporale dell'accesso alle proprietà lessicali e al contenuto semantico delle parole presentate visivamente, un processo fondamentale per la comprensione del messaggio scritto.

Gli scopi del progetto di dottorato erano molteplici. Innanzitutto si volevano indagare i meccanismi neurali associati ai processi di lettura di parole isolate e il decorso temporale dell'elaborazione lessicale confrontando l'attività bioelettrica evocata da stringhe di lettere con diversi gradi di legalità ortografica e di denotazione semantica, partendo dal presupposto che i diversi livelli di analisi dell'informazione linguistica potrebbero interagire in modo dinamico, piuttosto che succedersi in serie. In questa prospettiva, nel primo esperimento sono state selezionate parole e non-parole che differivano per il numero di vicini ortografici o per la legalità ortografico-fonologica e i partecipanti sono stati coinvolti in un compito di decisione lessicale. Le aspettative erano di trovare un effetto della legalità ortografica confrontando le risposte evocate dagli stimoli legali e dalle stringhe di lettere illegali che potesse gettar luce sulle basi anatomo-funzionali della via fonologica. Inoltre ci si aspettava un effetto che fosse imputabile all'accesso lessicale e al riconoscimento delle parole esistenti, che potesse far luce sulle basi anatomo-funzionali della via lessicale. Infine ci si aspettava un gradiente nella latenza e nell'ampiezza delle componenti ERP in funzione del numero di vicini ortografici delle pseudoparole che potesse chiarire il ruolo della VWFA e della corteccia temporale inferiore nei processi di lettura. Nel tentativo di spingersi fino all'indagine dell'accesso alle proprietà semantiche degli stimoli linguistici, le parole sono state suddivise in modo che appartenessero a due diverse categorie semantiche (nomi di animali e di vegetali). Questa scelta ha consentito, nel secondo esperimento, di indagare i meccanismi di accesso alle proprietà semantiche delle parole in un compito che non richiedesse un'elaborazione esplicita di informazioni semantiche. Nel terzo esperimento ci siamo occupati di testare l'ipotesi che le conoscenze concettuali relative alle entità concrete siano almeno in parte immagazzinate in termini di conoscenza percettiva basata sui sensi oltre che in termini di conoscenze strettamente linguistiche valutando gli effetti del grado di

concretezza delle parole sull'attivazione cerebrale, usando un paradigma del tutto analogo a quello utilizzato per gli esperimenti precedenti. Alla luce della letteratura sulle proprietà di risposta della corteccia infero-temporale, volevamo verificare la possibilità di distinguere l'effetto lessicale (discriminazione fra parole e pseudoparole) da quello legato alle proprietà semantiche degli stimoli (discriminazione fra parole astratte e concrete). Inoltre volevamo verificare se la "sede" dell'effetto di concretezza, fortemente associato al valore d'immagine delle parole, potesse essere diversa da quella responsabile dell'accesso alle proprietà semantiche che consentono di riconoscere i nomi di diverse categorie semantiche, partendo dal confronto con i risultati ottenuti nel secondo esperimento. Dall'analisi dei risultati di questi esperimenti è nata la curiosità di confrontare l'attività bioelettrica registrata in risposta alle parole nel contesto della risoluzione del compito di decisione lessicale e di un compito che richiedesse un'analisi più superficiale delle stringhe linguistiche (compito ortografico), allo scopo di indagare il modo in cui l'attenzione alle lettere piuttosto che alle parole potesse modificare l'attività bioelettrica associata ai processi di elaborazione degli stimoli linguistici.

In questa sede vorremmo porre l'accento su alcune questioni metodologiche che hanno guidato la fase di progettazione degli esperimenti e che a nostro modo di vedere rappresentano i punti di forza della nostra ricerca. Per quanto riguarda l'analisi dell'accesso alle informazioni semantiche, siamo convinti che sia difficile identificare i processi e le regioni cerebrali attivate in modo specifico da diverse classi di parole, semplicemente come funzione delle proprietà dello stimolo, usando compiti che richiedono o consentono l'uso di diverse strategie per una o l'altra categoria. Negli esperimenti che presenteremo in questo lavoro, ci siamo sforzati di trovare risposte elettrofisiologiche che potessero fornire un test diretto dell'ipotesi che la categoria semantica, piuttosto che la concretezza delle parole, moduli l'attivazione cerebrale in condizioni di richieste del compito identiche e quando i partecipanti non prestano attenzione in modo esplicito alla categoria semantica o alla concretezza delle parole. In entrambi i casi, i partecipanti svolgevano un compito di decisione lessicale, che richiede di determinare se una certa stringa di lettere rappresenta una parola esistente oppure no. Questo compito si focalizza sui processi di accesso lessicale e richiede risposte identiche per le parole con diversa denotazione semantica. Per questa ragione, assumiamo che nei nostri studi la categoria semantica e la concretezza non abbiano influenza sulle strategie di risoluzione del compito e di conseguenza che una diversa attivazione cerebrale rifletta differenze di elaborazione indotte dagli stimoli.

Inoltre, alla luce della letteratura esistente, un particolare sforzo era volto all'esclusione di possibili effetti confondenti legati alle variabili psicolinguistiche che influenzano in modo importante i processi di elaborazione delle parole scritte. È essenziale tener presente le proprietà degli stimoli per cui gli studi comportamentali e i precedenti esperimenti psicofisiologici hanno dimostrato forti effetti sui processi di elaborazione cerebrale. Le parole

possono variare su varie scale. Ad esempio, l'osservazione empirica che le parole lunghe sono più difficili da elaborare rispetto alle parole corte ha un riscontro negli studi elettrofisiologici che dimostrano come la lunghezza delle parole influenzi in modo significativo le risposte ERP. In modo analogo, è noto che la frequenza d'uso delle parole influenza in modo importante non solo i tempi di reazione e l'accuratezza nei compiti che richiedono un'elaborazione linguistica, ma anche i potenziali evocati. Considerando che alcune classi di parole possono esibire grandi differenze nella frequenza d'uso, questa variabile può influenzare l'esito degli studi sulle diverse classi di parole.

In ultimo, vorremmo sottolineare che la rilevanza del nostro studio emerge dalla tecnica d'indagine utilizzata. Infatti, la tecnica dei potenziali evocati (ERP) è un mezzo prezioso per indagare il corso temporale dell'elaborazione d'informazioni grazie alla sua capacità di registrare l'attività cerebrale generata in diverse regioni corticali e sottocorticali con un'ottima risoluzione temporale (circa 1-2 ms). L'analisi delle componenti ERP, specificate in termini di latenza dalla presentazione dello stimolo e distribuzione sullo scalpo, può fornire informazioni importanti sui meccanismi neurali coinvolti nell'elaborazione linguistica. La localizzazione dei generatori intracorticali tramite LORETA aveva lo scopo di trarre inferenze sulle regioni cerebrali coinvolte nelle diverse funzioni. Naturalmente non va dimenticato che essendo un metodo per localizzare l'attività elettrica cerebrale basato sulla registrazione dei potenziali di superficie, LORETA rimane un algoritmo caratterizzato da una risoluzione spaziale relativamente bassa. Per questa ragione i nostri risultati vanno considerati sulla base della loro convergenza con i dati di neuroimmagine. In effetti, un impegno costante è stato diretto a integrare le conoscenze derivanti dagli studi di neuroimmagine con l'approccio tipico degli studi elettrofisiologici. Considerando la grande mole di risultati, in questo lavoro la nostra attenzione sarà soprattutto rivolta ai generatori intracorticali delle componenti posteriori, poiché il comune denominatore degli esperimenti condotti riguarda l'indagine delle proprietà di risposta delle regioni occipito-temporali. I dati di questo lavoro potrebbero arricchire le conoscenze riguardanti il ruolo delle aree visive extrastriate della via ventrale nei processi di elaborazione linguistica.

In sintesi, la messa in opera degli esperimenti pianificati era volta a ottenere un complesso di dati comportamentali, elettrofisiologici e di ricostruzione dei generatori intracorticali sui meccanismi di accesso alla forma ortografica, lessicale e semantica, allo scopo di approfondire le nostre conoscenze sulle basi anatomo-funzionali dei processi di riconoscimento delle parole scritte, con l'ambizione di fornire strumenti utili per affinare i correnti modelli sui processi di lettura e sull'organizzazione dei concetti all'interno del cervello.

## **2 Il contesto teorico di riferimento**

### **2.1 L'elaborazione ortografico-lessicale degli stimoli linguistici**

Gli adulti istruiti posseggono una particolare forma di expertise visiva che consente loro di elaborare le parole scritte in modo efficace. In meno di 250 ms il sistema visivo è in grado di estrarre le informazioni necessarie per identificare il significato di una parola scritta indipendentemente dalle variazioni percettive di carattere, dimensione, tipo di font e posizione sulla retina. Gli aspetti cruciali di questa abilità devono essere appresi; la letto-scrittura è un'invenzione culturale relativamente recente, risalente a circa 5400 anni fa, in cui la salienza di alcuni dettagli a scapito di altri è stabilita in modo arbitrario. Essa rappresenta il primo modo di comunicazione tra i popoli e il primo mezzo usato per la conservazione e la trasmissione di informazioni.

I processi di lettura hanno ricevuto grande attenzione da parte della comunità scientifica e sono stati proposti diversi modelli interpretativi. Fra questi, il modello di lettura a due vie costituisce un punto di riferimento esplicativo importante, data la sua capacità di spiegare sul piano logico sia i processi di lettura di parole singole sia le eventuali disfunzioni di tali processi.

Il modello di lettura a due vie, detto anche modello a doppio accesso, è stato proposto per la prima volta da Coltheart (Coltheart, 1978) ed è stato successivamente articolato da diversi ricercatori, tanto che oggi ci si riferisce ad esso come "modello standard", indicando con questo termine che si tratta di un modello teorico generale intorno al quale esiste un certo grado di accordo fra i ricercatori e che non può essere attribuito ad alcun autore in particolare. Il costrutto centrale di questo modello è il sistema semantico-lessicale, una sorta di magazzino di memoria in cui ad ogni parola nota corrisponde una diversa entrata lessicale che, come in un dizionario, consente di accedere al significato della parola. Il sistema semantico-lessicale ha un'architettura funzionale articolata e complessa, è costituito da una serie di componenti tra loro interconnesse ma funzionalmente indipendenti. Nel sistema viene fatta una prima distinzione tra componenti lessicali di input, coinvolte nei processi di comprensione delle parole, e componenti di output, necessarie per la produzione delle parole. Le componenti di input e di output si distinguono a loro volta in sottocomponenti specifiche per la modalità di rappresentazione dello stimolo (ortografica o fonologica) così che ogni modalità viene rappresentata separatamente sia per il sistema di input che per quello di output. I lessici di input e di output sono tra loro interconnessi attraverso il sistema semantico, nel quale sono rappresentate le informazioni relative al significato delle parole in un codice logico-concettuale. Il processo per cui data una parola scritta si recupera dalla memoria il suo significato (e più in generale le informazioni sulla sua pronuncia, ortografia, classe grammaticale ecc.) viene chiamato accesso lessicale. Si tratta di un processo complesso

che implica diverse fasi di elaborazione: una fase di codifica, che consente di passare dalla forma scritta della parola al corrispondente codice di accesso al sistema semantico; una fase di identificazione dell'entrata lessicale corretta; infine una fase di recupero del significato della parola. Il modello a due vie di lettura si fonda sull'ipotesi che l'accesso al lessico possa avvenire sia direttamente sulla base di un codice visivo (via visiva), sia sulla base di un codice fonologico (via fonologica). I primi due stadi di elaborazione, comuni alle due vie, sono l'analisi visiva e il riconoscimento delle lettere, che consentono l'individuazione delle caratteristiche visive rilevanti dello stimolo, ad esempio la forma delle lettere che compongono la parola e la loro posizione relativa all'interno della stessa. Negli stadi successivi le due vie si separano. La via visiva (detta anche via lessicale) consente l'accesso lessicale mediante il passaggio dal lessico visivo/ortografico di input al sistema semantico e successivamente la lettura a voce alta mediante l'accesso al lessico fonologico di output. E' necessaria per la lettura e comprensione delle parole irregolari (in inglese) che non possono essere lette mediante l'applicazione delle regole di conversione grafema-fonema. Il passaggio attraverso il sistema semantico può essere evitato, per questo si opera a volte una distinzione fra la via visiva semantica e la via visiva diretta. Quest'ultima realizza una forma di lettura ad alta voce senza comprensione di ciò che si sta leggendo. La sua esistenza è stata dimostrata nello studio di pazienti neurologici con sindrome di "iperlessia", cioè la caratteristica di saper leggere pur senza comprendere ciò che si legge. La via fonologica prelessicale (detta anche via segmentale) consente la lettura ad alta voce mediante l'applicazione delle regole di conversione grafema-fonema. Questa via è necessaria per la lettura di stringhe di lettere che non hanno un'entrata lessicale nel sistema semantico e quindi non possono essere lette direttamente attraverso la via visiva, ad esempio le non parole, le parole straniere o le parole della propria lingua mai udite prima. Si ritiene che l'accesso tramite la via visiva, più veloce ed automatizzato, sia quello comunemente utilizzato dal lettore fluente nel riconoscimento di parole.

Il modello di Coltheart è un esempio di modello modulare, nel quale il processo di lettura avviene in modo *bottom-up* (dal basso verso l'alto), cioè a partire dall'input sensoriale verso rappresentazioni cognitive di ordine più alto. I processi di lettura sono stati spiegati anche in riferimento a modelli interazionisti, che prevedono, accanto a processi di tipo bottom-up, l'esistenza di feedback d'informazione da una rappresentazione di alto livello ad un livello più basso d'elaborazione, ovvero processi di tipo *top-down*.

Nel contesto dei processi di lettura, l'esempio più significativo dei modelli interazionisti è rappresentato dal modello connessionista proposto da James McClelland e David Rumelhart nel 1981, il cosiddetto modello ad attivazione interattiva (*Interactive Activation Model*, IA model). Questi autori assumono che la percezione visiva delle parole implichi processi in parallelo, sia nel senso che il sistema sia in grado di elaborare diverse lettere di una parola contemporaneamente, sia nel senso che l'elaborazione visiva avvenga simultaneamente a

diversi livelli. Inoltre, gli autori assumono che la percezione sia un processo interattivo, ovvero che i processi di tipo top-down o guidati dai concetti operino simultaneamente e in congiunzione con i processi di tipo bottom-up o guidati dai dati, allo scopo di fornire una sorta di molteplicità di vincoli che determinano ciò che percepiamo. La comunicazione fra i livelli procede tramite un sistema di connessioni, per mezzo delle quali l'attivazione di un livello si propaga ai livelli vicini. Tale comunicazione può essere sia di tipo eccitatorio sia di tipo inibitorio. Per ciascuna unità rilevante del sistema, gli autori assumono che esista un'entità chiamata nodo. Esiste un nodo per ciascuna parola che conosciamo, così come per ciascuna lettera in tutte le posizioni all'interno di una stringa di quattro lettere. I nodi sono organizzati in livelli di elaborazione. Gli autori prevedono l'esistenza di un livello per l'elaborazione delle caratteristiche visive delle lettere (che rappresenta l'insieme delle unità di input), un livello per l'elaborazione delle lettere (che rappresenta l'insieme delle unità nascoste o *hidden units*) e un livello per l'elaborazione delle parole (che rappresenta l'insieme delle unità di output), oltre che livelli più elevati che forniscono input di tipo top-down al livello delle parole.

Questo modello rende conto di diversi fenomeni. Ad esempio, è stato riscontrato che la rilevazione di una lettera target risulta più accurata quando la lettera è inserita in una parola, piuttosto che in una stringa di lettere senza senso o in isolamento (effetto di superiorità delle parole, Reicher, 1969). Quest'effetto suggerisce che le parole non vengono elaborate lettera per lettera, ma che il riconoscimento delle lettere venga inibito oppure facilitato a seconda del contesto, cioè in funzione dell'informazione top-down relativa alle parole.

Un altro modello che negli ultimi anni ha assunto una rilevanza notevole è il DRC o *Dual-Route Cascade Model* elaborato da Coltheart e collaboratori nel 1994. Il modello DRC rappresenta la versione implementata su computer del modello a due vie di lettura. È un modello di lettura a due vie nel senso che prevede una fase di codifica dei tratti visivi che costituiscono le diverse lettere (nella componente dei rilevatori di caratteristiche), una fase di identificazione delle singole lettere (nella componente dei rilevatori di lettere) e l'esistenza di due procedure per la lettura, una procedura lessicale che comporta il riconoscimento visivo dell'intera parola e una procedura di conversione grafema-fonema. È un modello di computazione nel senso che esiste un programma computerizzato che riceve le lettere come input e restituisce una rappresentazione fonemica come output; l'architettura del modello computazionale rappresenta una generalizzazione del modello ad attivazione interattiva di McClelland e Rumelhart (1981). Il modello DRC prevede che il riconoscimento delle parole avvenga tramite numerosi cicli di elaborazione. L'espressione "elaborazione a cascata" fa riferimento al fatto che non appena si registra un'attivazione in uno qualsiasi dei livelli del modello, quest'attivazione viene comunicata ai livelli adiacenti. Ciò significa che l'attivazione passa continuamente fra i livelli, non è necessario attendere che l'elaborazione in un livello sia completata affinché l'informazione sia trasmessa ai livelli successivi. In questo modo,

ciascun livello contribuisce all'attivazione e all'inibizione dei livelli adiacenti, l'elaborazione è cioè completamente interattiva.

La letteratura sui processi di lettura è molto complessa, una sua trattazione esaustiva esula dagli scopi di questo lavoro. Tuttavia è doveroso sottolineare che lo sviluppo delle tecniche di neuroimmagine ha fornito informazioni preziose a proposito dell'architettura dei processi linguistici (per una revisione si veda Dien, 2009). Ad esempio, numerose evidenze sperimentali suggeriscono l'esistenza di una via lessicale lungo la parte inferiore del lobo occipitale e temporale. In questa regione, tre aree hanno ricevuto particolare attenzione. La prima è la corteccia occipitale inferiore, che comprende il giro occipitale inferiore e il giro linguale, senza una chiara lateralizzazione degli effetti riscontrati. Questa regione potrebbe essere coinvolta nei processi di analisi delle lettere e delle loro caratteristiche visive. La seconda regione che ha ricevuto notevole attenzione negli ultimi anni è la cosiddetta Area per la Forma Visiva delle Parole o *Visual Word Form Area* (VWFA, Cohen & Dehaene, 2004). Quest'area si trova anteriormente alla corteccia occipitale inferiore, all'interno del giro fusiforme. Potrebbe essere la sede del meccanismo responsabile del riconoscimento delle parole che si basa su un processo di integrazione delle lettere in una unità percettiva (una rappresentazione visiva astratta), definita "forma visiva delle parole" o *visual word form* (Warrington & Shallice, 1980). I numerosi studi dedicati all'indagine delle proprietà di risposta della VWFA hanno dimostrato che la presentazione di parole in modalità uditiva non evoca alcuna risposta di questa regione; sia gli stimoli visivi presentati nell'emicampo destro sia quelli presentati nell'emicampo visivo sinistro producono un'attivazione del giro fusiforme dell'emisfero sinistro; la VWFA risulta insensibile ad alcune variazioni superficiali delle lettere. Ancora non risulta chiaro se quest'area risponda in modo preferenziale alle parole, discriminandole dalle pseudoparole (effetto di superiorità delle parole), oppure se le pseudoparole siano distinte dalle stringhe di lettere sulla base della loro regolarità ortografica. La terza regione a cui vogliamo fare cenno si trova anteriormente alla VWFA, ovvero lungo la parte anteriore del giro fusiforme. Alcuni autori hanno mostrato che questa regione è sensibile al contenuto semantico delle parole, tanto che è stato proposto il termine Area Fusiforme Semantica o *Fusiform Semantic Area* (FSA, Dien & O'Hare, 2008). Tuttavia, questa regione potrebbe ragionevolmente corrispondere al lessico ortografico di input del modello DRC. La sensibilità alle manipolazioni semantiche potrebbe riflettere influenze di tipo top-down dal sistema semantico.

Per quanto riguarda la via fonologica, è stato suggerito che la parte posteriore del giro frontale inferiore, parte della classica area di Broca, possa essere implicata nei processi di elaborazione fonologica. Gli studi sulla fonologia hanno chiamato in causa anche la corteccia parietale posteriore, in particolare il giro angolare e il giro sopramarginale. Una possibilità è che il giro angolare medi il processo di traduzione del codice motorio trasmesso dall'area di Broca in un codice fonologico. Da qui il codice fonologico potrebbe essere trasmesso al giro

sopramarginale, che avrebbe la funzione di magazzino fonologico. Da questo buffer il codice fonologico potrebbe essere trasmesso alle regioni responsabili della codifica del linguaggio parlato. Gli studi esistenti (per una revisione si veda Hickok & Poeppel, 2004) hanno suggerito un coinvolgimento della parte laterale del lobo temporale, in particolare la corteccia uditiva associativa nel solco temporale superiore e il giro temporale superiore. Una porzione particolarmente rilevante di questa regione è la parte posteriore del giro temporale mediale, che potrebbe essere coinvolta nel recupero del codice fonologico e potrebbe corrispondere all'Area Fusiforme Semantica della via lessicale. Detto in altri termini, la parte posteriore del giro frontale inferiore e il giro angolare potrebbero rappresentare i correlati neurali del sistema di conversione grafema-fonema, il giro sopramarginale potrebbe rappresentare il correlato neurale del buffer di risposta e la parte posteriore del giro temporale mediale potrebbe corrispondere al lessico fonologico di output.

## **2.2 L'elaborazione semantica degli stimoli linguistici: gli effetti della categoria**

Nel paragrafo precedente ci siamo focalizzati sui processi di codifica ortografica e fonologica delle parole scritte, che consentono l'accesso al lessico e al sistema semantico. L'accesso alle conoscenze semantiche è un processo fondamentale per la comprensione del messaggio scritto. Quale sia l'organizzazione dei concetti all'interno del cervello è un tema centrale delle neuroscienze cognitive. In questo paragrafo ci concentreremo sulla rappresentazione del significato di entità concrete, un aspetto della neuroanatomia funzionale della memoria semantica in cui si intrecciano almeno due classi di dibattiti: il primo relativo all'esistenza di un unico sistema semantico amodale piuttosto che sistemi semantici multipli; il secondo relativo all'esistenza di circuiti neurali specifici per diverse categorie semantiche, piuttosto che attivazioni cerebrali emergenti dalle caratteristiche distintive dei vari concetti, come la classe di conoscenza (percettiva vs. associativa-funzionale) o la modalità (visiva o verbale). L'osservazione di pazienti caratterizzati da deficit selettivi per alcune categorie di oggetti ha rappresentato la principale motivazione e ha guidato la ricerca finalizzata a cogliere l'organizzazione dei concetti all'interno del cervello.

In questo contesto sono state proposte diverse teorie. A nostro modo di vedere, ognuna di esse formula ipotesi interessanti e verosimili riguardo al modo in cui gli esseri umani riconoscono e comprendono le parole e i concetti sottostanti, sebbene nessuna di esse sia in grado di cogliere il fenomeno nella sua complessità, né tantomeno di rendere conto di tutte le osservazioni fatte nel contesto della neuropsicologia e delle neuroscienze cognitive. Ad esempio, la *teoria sensoriale/funzionale* (*Sensory/Functional Theory*, Warrington & McCarthy, 1983; Warrington & Shallice, 1984) pone l'accento sulle proprietà dei vari concetti piuttosto che sulle categorie, assumendo che il sistema semantico sia organizzato in sottosistemi specifici per la modalità; secondo questa teoria, la capacità di riconoscere e

denominare entità appartenenti alla categoria dei viventi dipenderebbe da informazioni di natura visiva/percettiva, mentre la capacità di riconoscere e denominare entità appartenenti alla categoria dei non viventi dipenderebbe da informazioni di natura funzionale/associativa (Humphreys & Forde, 2001; Martin e coll., 2000), in considerazione del fatto che gli attributi visivi sono più rilevanti per la rappresentazione delle entità naturali, mentre gli attributi semantici legati all'azione sono più rilevanti per la rappresentazione dei manufatti. Uno degli aspetti problematici di questa teoria deriva dal fatto che se l'abilità di riconoscere e denominare entità viventi dipende dallo stesso tipo di informazioni, non dovrebbero essere osservate dissociazioni all'interno della categoria dei viventi. Tuttavia, sono stati descritti casi di pazienti affetti da deficit selettivi per la categoria dei vegetali (Hart e coll., 1985; Hillis & Caramazza, 1991), piuttosto che per la categoria degli animali (Hart & Gordon, 1992; Caramazza & Shelton, 1998).

Una seconda proposta è l'*ipotesi di un contenuto unitario organizzato* (*Organized Unitary Content Hypothesis* – modello OUCH- Riddoch e coll., 1988; Caramazza e coll., 1990), in cui si assume che le caratteristiche concettuali corrispondenti alle proprietà degli oggetti che co-occorrono con una certa frequenza siano immagazzinate in modo contiguo nello spazio semantico. Ad esempio, secondo questo modello una lesione cerebrale focale potrebbe causare deficit semantici categoria-specifici o perché la conoscenza concettuale corrispondente ad oggetti con caratteristiche simili sono immagazzinate in strutture neurali adiacenti oppure perché il danno ad una certa caratteristica si propaga a caratteristiche correlate. L'*ipotesi dominio-specifica* (*Domain-Specific hypothesis*, Caramazza & Shelton, 1998) pone l'accento sul dominio dei vari concetti piuttosto che sulle singole proprietà e sul fatto che le pressioni evolutive possano aver portato ad una specializzazione, nonché ad una dissociazione funzionale, dei circuiti neurali deputati all'elaborazione percettiva e concettuale di diverse categorie di oggetti, in particolare di oggetti il cui rapido ed efficiente riconoscimento portasse ad un vantaggio in termini di sopravvivenza e possibilità di riprodursi. I possibili candidati sono gli animali, i vegetali, i conspecifici e probabilmente gli strumenti. Infine, l'*ipotesi della struttura concettuale* (*Conceptual-Structure account*, Tyler & Moss, 2001) assume che le categorie semantiche e i domini non siano rappresentati in modo esplicito e che le dissociazioni osservate fra le categorie dipendano da specifici pattern di attivazione cerebrale in risposta a stimoli caratterizzati da determinati attributi percettivi e funzionali. L'ipotesi della struttura concettuale assume che proprietà percettive specifiche siano correlate a specifiche funzioni. La natura di queste correlazioni tra forma e funzione distingue le entità viventi da quelle non viventi: i manufatti hanno forme distinte associate alle loro funzioni, mentre per quanto riguarda i viventi, le informazioni sulle funzioni biologiche sono fortemente associate alle proprietà percettive condivise (ad esempio, può vedere/ha gli occhi). In seguito a danno cerebrale i concetti sarebbero preservati nella misura in cui hanno numerose proprietà condivise che supportano la conoscenza della categoria o

del dominio come tutt'uno, oltre che correlazioni forti fra quelle caratteristiche distintive che sono necessarie per la corretta identificazione e discriminazione fra membri simili di una stessa categoria.

Lo scenario dipinto da questi modelli è abbastanza complesso ed è difficile trovare evidenze definitive in favore di uno di essi. Sono stati riportati casi di pazienti con deficit che deponevano a favore o contro ciascuno dei modelli sopraccitati. Secondo la nostra opinione, un approccio promettente proviene dalle neuroscienze cognitive. Per esempio, molti studi di neuroimmagine funzionale sui processi di elaborazione lessicale, semantica e concettuale compiuti su volontari sani hanno riportato evidenze a favore dell'esistenza di circuiti neurali specifici per diverse categorie semantiche. Molti di questi studi hanno usato paradigmi di recupero di parole (ad esempio compiti di fluenza verbale o denominazione di figure). Per esempio, in uno studio PET in cui i partecipanti erano istruiti a denominare figure di animali, strumenti e volti di personaggi famosi, Damasio e collaboratori (1996) hanno riscontrato che la denominazione di volti di personaggi famosi attivava la parte ventrale laterale del lobo temporale, mentre la denominazione di animali e strumenti attivava diverse regioni della parte posteriore inferiore della corteccia temporale sinistra, oltre che il polo temporale, suggerendo che il recupero lessicale di parole appartenenti a diverse categorie potesse attivare rappresentazioni cerebrali diverse.

In generale, gli studi di neuroimmagine funzionale hanno identificato due regioni chiave. La prima, il lobo temporale, in particolare la parte posteriore del lobo temporale sinistro, sembra una regione critica per le rappresentazioni dei nomi di oggetti concreti. Ad oggi, simili pattern di attivazione delle regioni ventrale e laterale della corteccia temporale posteriore sono stati osservati usando un certo numero di stimoli diversi. Per esempio, è stata trovata un'attivazione della porzione laterale del giro fusiforme (inclusa la cosiddetta Area Fusiforme per le Facce o *Fusiform Face Area*) usando compiti di denominazione, categorizzazione, decisione semantica sia con immagini di animali sia con i loro nomi scritti. La seconda, la corteccia prefrontale ventrolaterale dell'emisfero sinistro, sembra una regione critica per i processi di controllo di tipo top-down della memoria semantica; infatti sembra guidare i processi di recupero e la successiva selezione delle informazioni concettuali immagazzinate nella corteccia temporale posteriore e probabilmente in altre regioni cerebrali (Martin, 2007).

Un principio generale che sembra emergere dagli studi di neuroimmagine funzionale è che le regioni cerebrali coinvolte nei processi di elaborazione delle diverse categorie semantiche siano spazialmente prossime alle regioni cerebrali caratterizzate da forti associazioni sensoriali o motorie con la categoria concettuale in questione. Ad esempio, i compiti che richiedono di elaborare immagini o nomi di entità manipolabili sembrano attivare regioni cerebrali associate al comportamento di raggiungimento (*reaching*) e di prensione (*grasping*); i compiti che richiedono di elaborare immagini o nomi di entità che devono

essere discriminati da molti esemplari di entità simili (come le facce) sembrano attivare le aree coinvolte nel riconoscimento della forma visiva.

### **2.3 L'elaborazione semantica degli stimoli linguistici: gli effetti di concretezza**

Come abbiamo già evidenziato, la rappresentazione neurale della conoscenza dei concetti è un argomento di interesse centrale nelle neuroscienze cognitive. Un corpus consistente di studi si è focalizzato sull'organizzazione delle conoscenze relative alle entità concrete, motivato dall'osservazione di deficit specifici per l'elaborazione di oggetti appartenenti a diverse categorie semantiche nei pazienti affetti da disturbi neurologici.

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, la maggior parte delle quali sono a loro volta astratte. L'indagine del modo in cui vengono elaborate parole con diverso grado di concretezza è stato un tema di grande interesse nel contesto della psicologia cognitiva, in parte perché tale confronto consente di inferire il modo in cui diversi tipi di informazioni contribuiscono al riconoscimento delle parole. In generale, usando paradigmi come il compito di decisione lessicale o di denominazione, molti studi hanno mostrato che le parole astratte sono più difficili da elaborare rispetto alle parole concrete.

Gli effetti di concretezza sono stati interpretati in accordo con due modelli teorici predominanti. Il primo, il *modello del doppio codice* (*Dual-Coding Theory*, Paivio, 1991) rappresenta una variante dell'approccio dei sistemi semantici multipli, considerando che interpreta gli effetti di concretezza ricorrendo a sistemi di rappresentazione e di elaborazione modalità-specifici. Questo modello assume che le parole astratte siano rappresentate soltanto in un codice simbolico verbale, ovvero che siano associate ad informazioni immagazzinate nel sistema linguistico; le parole concrete, oltre ad essere rappresentate in un codice simbolico verbale, sarebbero associate ad informazioni immagazzinate in un sistema non-verbale, di natura visiva/immaginativa. Secondo gli autori che hanno proposto questo modello, inizialmente le parole concrete attiveranno le informazioni linguistiche e subito dopo informazioni di tipo immaginativo, per mezzo di legami referenziali che connettono i sistemi immaginativo e linguistico; le parole astratte non avrebbero, o comunque avrebbero un minor numero di legami referenziali fra i due sistemi e attiveranno principalmente rappresentazioni di natura linguistica. Proprio perché accedono ad informazioni da sistemi di rappresentazione multipli, le parole concrete sono caratterizzate da diversi "vantaggi" di elaborazione rispetto alle parole astratte. Ad esempio, nel contesto di un compito di decisione lessicale le parole concrete possono essere distinte in modo rapido dalle pseudoparole in virtù dell'attivazione semantica aggiuntiva derivante dall'accesso ad un codice immaginativo oltre che a quello linguistico. Le parole astratte sono più difficili da discriminare dalle

pseudoparole, i tempi di reazione sono più lenti, a causa della minor attivazione semantica che si verifica nel caso delle parole astratte, che inducono un accesso al solo codice linguistico.

Diversamente da quello precedente, il *modello della disponibilità del contesto* (*Context-Availability Model*, Bransford & McCarrell, 1974; Schwanenflugel, 1991) non prevede che diversi codici d'informazione o diversi sistemi di elaborazione rappresentino i fattori determinanti dell'effetto di concretezza. La natura delle rappresentazioni e i processi di elaborazione dei due tipi di parole non differiscono. Gli individui sono in grado di classificare le parole concrete come parole esistenti più velocemente di quanto facciano nel caso delle parole astratte perché le parole concrete attivano un maggior numero di informazioni semantiche. Questo modello assume che le parole concrete differiscano dalle parole astratte semplicemente in termini quantitativi, ma all'interno di un unico sistema semantico. I processi di comprensione sono fortemente influenzati dal contesto, rappresentato sia dal discorso precedente sia dalle conoscenze di base dell'individuo (la memoria semantica); le parole concrete sarebbero più strettamente associate alle conoscenze contestuali rilevanti presenti nella memoria semantica rispetto alle parole astratte, dato che le parole concrete esibiscono un numero maggiore di legami associativi con il materiale immagazzinato. In linea con quest'ipotesi alcuni studi empirici hanno suggerito che gli effetti di concretezza spariscono quando le parole astratte e concrete sono bilanciate in termini di quantità di informazioni contestuali che gli individui sono in grado di generare per ogni parola (van Hell & de Groot, 1998).

Sulla base delle considerazioni teoriche appena fatte è possibile elaborare diverse ipotesi riguardo ai meccanismi neurali dell'elaborazione delle parole astratte e concrete. Il modello del doppio codice suggerisce che sia possibile predire una maggior attivazione delle regioni che costituiscono il sistema delle rappresentazioni delle immagini, generalmente attribuito all'emisfero destro, nel contesto dell'elaborazione delle parole concrete. Il modello della disponibilità del contesto suggerisce che sia possibile predire una forte attività delle regioni cerebrali associate al recupero delle informazioni semantiche nel contesto dell'elaborazione delle parole astratte. Il modello del doppio codice è stato discusso spesso in relazione all'assunzione generale delle asimmetrie funzionali fra i due emisferi, ipotizzando che il sistema immaginativo sia rappresentato nell'emisfero destro e il sistema verbale sia rappresentato nell'emisfero sinistro. Questa "versione neuropsicologica" del modello è stata supportata dagli studi comportamentali che hanno usato paradigmi di stimolazione degli emicampi visivi (ad esempio Shibahara & Lucero-Wagoner, 2002), dagli studi clinici di pazienti affetti da lesioni all'emisfero destro (Funnell e coll., 2001), oltre che dagli studi ERP che hanno mostrato una negatività maggiore in risposta alle parole concrete rispetto alle parole astratte sull'emisfero destro (Kounios & Holcomb, 1994; West & Holcomb, 2000). Tuttavia gli studi di neuroimmagine hanno prodotto risultati discordanti. Ad esempio, fra gli

studi che si sono avvalsi del compito di decisione lessicale, Perani e collaboratori (1999) usando la tecnica PET hanno riscontrato che l'elaborazione delle parole astratte era associata ad un'attivazione selettiva del polo temporale dell'emisfero destro e dell'amigdala, unitamente a un'attivazione della corteccia frontale inferiore bilaterale, mentre l'elaborazione delle parole concrete non era associata ad alcuna attivazione specifica. In uno studio fMRI del 1999 Kiehl e collaboratori hanno trovato un'attivazione della parte anteriore della corteccia temporale destra in risposta alle parole astratte e un'attivazione della parte posteriore della corteccia temporale destra in risposta sia alle parole astratte sia a quelle concrete. Infine in uno studio fMRI del 2005, Binder e collaboratori hanno trovato un'attivazione bilaterale del giro angolare e della corteccia prefrontale dorsale in risposta alle parole concrete presentate in modalità uditiva e un'attivazione della parte laterale del lobo temporale sinistro per entrambi i tipi di parole. Molti studi di neuroimmagine suggeriscono l'esistenza di una rappresentazione bilaterale dei nomi di entità concrete, mentre la rappresentazione delle parole astratte è definita in modo meno chiaro. La discrepanza fra gli studi potrebbe essere legata a questioni metodologiche, ad esempio all'eterogeneità dei compiti usati piuttosto che alle caratteristiche degli stimoli (solitamente non viene controllato il valore di immagine delle parole, poiché si dà per scontato che questa variabile sia equivalente al grado di concretezza), ma potrebbe anche suggerire che gli effetti di concretezza interessano diversi meccanismi cognitivi.

## **3 Esperimento 1: l'analisi ortografico-lessicale delle parole**

### **3.1 Introduzione**

Nonostante esista un generale accordo attorno ad alcuni aspetti dei processi di lettura, come l'esistenza di un codice fonologico e di un codice ortografico, alcune questioni fondamentali riguardo alla loro implementazione, la loro importanza relativa e il decorso temporale rimangono oggetto di dibattito.

Uno dei maggiori temi d'indagine riguarda il decorso temporale dell'accesso alle proprietà lessicali e al contenuto semantico delle parole presentate in modalità visiva. Un acceso dibattito riguarda la latenza dei processi di natura semantica, che secondo quanto emerge dagli studi più recenti potrebbe essere molto più precoce rispetto a quanto si riteneva in passato e potrebbe avvenire in parallelo, piuttosto che in sequenza, con altri tipi di elaborazione linguistica. Gli studi ERP e MEG hanno fornito evidenze contrastanti riguardo alla comparsa degli effetti lessicali, suggerendo che potrebbe avvenire a partire da 110 ms dopo la presentazione dello stimolo (Penolazzi e coll., 2007; Hauk e coll., 2009) fino a 300-400 ms (Braun e coll., 2006; Holcomb & Grainger, 2007). Questa grande variabilità sembra dipendere in modo importante da alcuni parametri sperimentali, come la luminanza, la lunghezza, la frequenza di occorrenza, la categoria semantica o il dominio, la classe grammaticale, il tasso di ripetizione, la familiarità, la concretezza, l'intervallo iter stimolo, nonché il tipo di compito (decisione lessicale, decisione ortografica o fonologica, priming semantico ecc.). Per quanto riguarda il compito di decisione lessicale, che consiste nello stabilire se lo stimolo presentato è una parola esistente o una stringa di lettere senza significato, un fattore che potrebbe influire in modo importante sulla latenza degli effetti lessicali è la somiglianza ortografica fra le parole e le non-parole, ovvero il numero di vicini ortografici o *neighborhood size* delle pseudoparole. I vicini di una parola sono stati definiti da Coltheart e collaboratori (1977) come tutte le parole della stessa lunghezza della parola data che possono essere generate da essa cambiando una delle lettere che la compongono. Gli autori hanno ipotizzato che nelle prime fasi di riconoscimento di una parola scritta si attivi non solo la rappresentazione della parola data ma anche quella delle parole ortograficamente simili ad essa. Numerosi studi comportamentali hanno dimostrato che gli individui impegnati in un compito di decisione lessicale sono più veloci a rispondere alle parole con un alto numero di vicini ortografici piuttosto che alle parole con un basso numero di vicini ortografici (effetto facilitatore del numero di vicini ortografici). Al contrario, i tempi di risposta alle pseudoparole sono più lenti quando quest'ultime hanno un alto numero di vicini ortografici (effetto inibitore del numero di vicini ortografici). La presentazione di una pseudoparola ortograficamente simile ad una parola esistente potrebbe attivare la

rappresentazione di quella parola, richiedendo uno sforzo cognitivo maggiore per decidere se l'item è una parola dotata di significato oppure no. Grainger & Jacobs (1996) hanno interpretato quest'effetto ipotizzando che le pseudoparole con un alto numero di vicini ortografici possano indurre un incremento del livello di attivazione globale del lessico mentale attraverso le rappresentazioni delle parole che richiamano. L'attivazione lessicale globale prolungherebbe il tempo di elaborazione necessario per determinare il livello di denotazione semantica di una certa stringa e comporterebbe risposte più lente per le pseudoparole con tanti vicini. Alcuni studi ERP recenti hanno contribuito in modo interessante all'indagine di questo aspetto. Ad esempio, Braun e collaboratori (2006) hanno indagato il ruolo del numero di vicini ortografici nell'elaborazione visiva degli stimoli linguistici confrontando le risposte ERP a 300 parole e 300 pseudoparole ottenute sostituendo da una a quattro lettere di parole esistenti e suddividendo i 600 stimoli in sei gruppi a seconda del loro livello di attivazione lessicale globale (ovvero in funzione del numero di vicini ortografici). I risultati del compito di decisione lessicale hanno suggerito l'esistenza di una risposta discriminativa fra le parole e le pseudoparole intorno a 300-390 ms sui siti di registrazione anteriori, che si concretizzava in una negatività maggiore per le pseudoparole. Intorno a 450-550 ms dopo la presentazione dello stimolo gli autori hanno osservato un gradiente di ampiezza in funzione dell'attivazione lessicale globale in corrispondenza delle pseudoparole, ma non in corrispondenza delle parole. I risultati comportamentali hanno confermato che le pseudoparole con un basso livello di attivazione lessicale globale erano associate a risposte più veloci rispetto alle pseudoparole con un alto livello di attivazione lessicale globale; nel caso delle parole, l'andamento dei tempi di risposta era opposto. In accordo con il modello proposto da Grainger e Jacobs nel 1996, gli autori hanno ipotizzato che la risposta negativa alle pseudoparole sia computata in base al livello di attivazione lessicale globale e che richieda più o meno sforzo cognitivo a seconda del numero di vicini ortografici delle pseudoparole. Al contrario, la risposta affermativa alle parole sarebbe computata in base a una soglia di identificazione indipendente dal livello di attivazione globale delle parole. In un altro studio ERP recente, condotto usando un compito di decisione lessicale, Carreiras e collaboratori (2007) hanno dimostrato che i tempi di risposta alle pseudoparole simili a parole esistenti, ottenute trasponendo due lettere, erano più tardive rispetto alle risposte alle pseudoparole che si discostavano maggiormente dalle parole esistenti, ottenute sostituendo due lettere. Inoltre le pseudoparole ottenute trasponendo le lettere di parole esistenti sembravano attivare la parola corrispondente, come suggerito dal numero di falsi allarmi. La componente N400, misurata fra 300 e 500 ms, mostrava un gradiente tale per cui era più ampia in risposta alle pseudoparole meno somiglianti a parole esistenti e "intermedia" in risposta alle pseudoparole più simili a parole esistenti. Nella finestra temporale compresa fra 500 e 680 ms le pseudoparole ottenute trasponendo le lettere di parole esistenti evocavano una negatività maggiore rispetto alle

pseudoparole ottenute sostituendo le lettere di parole esistenti. Gli autori hanno interpretato questo secondo effetto ipotizzando che le pseudoparole più simili a parole esistenti producessero più attivazione lessicale e fossero per questo più in competizione con le parole esistenti.

Gli studi che abbiamo presentato finora descrivono effetti relativamente tardivi; tuttavia esistono numerosi studi che suggeriscono come sia possibile mettere in evidenza effetti precoci delle proprietà psicolinguistiche delle parole presentate visivamente. Ad esempio, usando un compito di decisione lessicale sono stati riscontrati effetti della frequenza d'uso delle parole nella latenza della componente N1, intorno a 132 ms dalla presentazione dello stimolo (Serenio e coll., 1998), e intorno a 160 ms dalla presentazione dello stimolo (Hauk & Pulvermuller, 2004). Penolazzi e collaboratori (2007) hanno descritto un'interazione fra la lunghezza e la frequenza d'uso di parole presentate nel contesto di frasi intorno 120 e 180 ms. Altri studi hanno messo in evidenza effetti di natura lessicale (discriminazione parola/pseudoparola) nella latenza del cosiddetto Potenziale di Riconoscimento (*Recognition Potential* o *RP*, Rudell, 1991). Il RP consiste in una componente negativa con un picco intorno ai 200-250 ms, centrata sui siti posteriori sinistri. Nel contesto della presentazione di stimoli linguistici, sembra avere un'ampiezza massima in risposta alle parole, un'ampiezza intermedia in risposta alle pseudoparole legali dal punto di vista ortografico e inferiore in risposta alle stringhe di lettere illegali (per una revisione sul RP si veda Martín-Loeches, 2007). L'ultimo studio che vorremmo ricordare è stato condotto da Hauk e collaboratori (2009), usando un'analisi di regressione lineare multipla sulle risposte elettrofisiologiche a parole e pseudoparole presentate nel contesto di un compito di decisione lessicale. Gli autori hanno riscontrato un effetto della lunghezza degli item intorno a 100 ms. Nella stessa finestra temporale hanno messo in evidenza un effetto del numero di vicini ortografici. Mentre l'effetto della lunghezza degli item era localizzato nelle regioni cerebrali posteriori di entrambi gli emisferi sia per le parole sia per le pseudoparole, l'effetto del numero di vicini ortografici era distribuito in modo diverso per le parole e per le pseudoparole, suggerendo che potesse interagire con lo status lessicale degli stimoli. L'effetto del numero di vicini ortografici registrato in risposta alle parole era localizzato nel lobo temporale dell'emisfero sinistro, più anteriormente rispetto all'effetto registrato in risposta alle pseudoparole, suggerendo che le risposte cerebrali siano sensibili alla familiarità visiva dello stimolo già 100 ms dopo la presentazione dello stesso.

Gli scopi del nostro esperimento erano molteplici. Innanzitutto si volevano indagare i meccanismi neurali associati ai processi di lettura delle parole e il decorso temporale dell'elaborazione lessicale confrontando l'attività bioelettrica evocata da stringhe di lettere con diversi gradi di legalità ortografica e di denotazione semantica, inducendo un livello crescente di attività lessicale globale. Per questa ragione sono state selezionate 100 parole e sono state create 300 non-parole. Le non-parole erano così suddivise: 100 pseudoparole

ottenute cambiando una lettera di parole esistenti, in modo che la familiarità visiva nonché il numero di vicini ortografici di questi stimoli fosse molto alto; 100 pseudoparole che rispettavano le regole di conversione grafema-fonema specifiche dell'italiano, ma che non richiamavano una parola esistente, in modo che il numero di vicini ortografici fosse molto basso; 100 stringhe di lettere costituite da sequenze di vocali e consonanti illegali dal punto di vista ortografico e fonologico. Le aspettative erano di trovare un effetto della legalità ortografica confrontando le risposte evocate dagli stimoli legali e dalle stringhe di lettere illegali che potesse gettar luce sulle basi anatomo-funzionali della via fonologica. Inoltre ci si aspettava un effetto che fosse imputabile all'accesso lessicale e al riconoscimento delle parole esistenti, che potesse far luce sulle basi anatomo-funzionali della via lessicale. Infine ci si aspettava un gradiente nella latenza e nell'ampiezza delle componenti ERP in funzione del numero di vicini ortografici delle pseudoparole che potesse chiarire il ruolo della VWFA e della corteccia temporale inferiore nei processi di lettura. Particolare attenzione era rivolta all'incertezza che emerge dall'analisi della letteratura in merito alle proprietà funzionali di questa regione cerebrale. Ad esempio, ancora non risulta chiaro se la VWFA possa essere definita come la sede funzionale di un meccanismo di riconoscimento della forma visiva globale degli stimoli linguistici, analogo in qualche modo al meccanismo responsabile del riconoscimento degli oggetti e dei volti, oppure se quest'area sia alla base della discriminazione fra stimoli dotati di una veste ortografica legale e stimoli illegali dal punto di vista ortografico (si veda il paragrafo 2.1). A nostro modo di vedere, quest'incertezza potrebbe intrecciarsi con quanto abbiamo appena accennato a proposito delle pseudoparole che, avendo un elevato numero di vicini ortografici, inducono un certo livello di attivazione lessicale globale. La nostra ipotesi è che le pseudoparole con un elevato numero di vicini ortografici possano indurre un livello di attivazione paragonabile a quello delle parole nella VWFA e possano agire da fattore confondente nell'indagine del ruolo della VWFA sui processi di lettura.

Nel tentativo di spingersi fino all'indagine dell'accesso alle proprietà semantiche degli stimoli linguistici, le parole sono state suddivise in modo che appartenessero a due diverse categorie semantiche. La scelta di inserire la variabile "categoria semantica" in questo esperimento ha consentito di indagare i processi di elaborazione semantica in un compito che non richiedesse di categorizzare in modo esplicito gli item.

Considerando la grande mole di risultati derivante dall'indagine contemporanea di diversi processi, l'analisi dei dati di questo esperimento è stata suddivisa a seconda della natura degli effetti ERP riscontrati. Lo studio 1 è centrato sugli effetti ERP legati al ruolo della legalità ortografica e della familiarità visiva nei processi di lettura. Lo studio 2 è maggiormente focalizzato sulle dinamiche temporali dell'elaborazione lessicale. Il capitolo successivo sarà dedicato ai processi di elaborazione delle categorie semantiche.

## **3.2 Metodo**

### **3.2.1 Partecipanti**

Hanno preso parte all'esperimento 16 studenti universitari italiani. Prima di partecipare allo studio, tutti hanno fornito il loro consenso informato scritto; inoltre tutti gli studenti hanno acquisito dei crediti per la loro collaborazione. I dati relativi a quattro partecipanti sono stati esclusi dalle analisi successive a causa di artefatti nella registrazione EEG. I rimanenti 12 (6 maschi e 6 femmine) erano tutti destrimani, d'età compresa fra 20 e 25 anni (M: 23; DS: 1.75), con vista normale o corretta con uso di occhiali, in buona salute e senza disturbi neurologici precedenti. La dominanza destra è stata accertata mediante la somministrazione della traduzione italiana (Salmaso & Longoni, 1985) del questionario *Edinburgh Inventory Questionnaire* (Oldfield, 1971) e di due prove pratiche sulla dominanza oculare. L'esperimento è stato condotto in accordo con gli standard etici (Helsinki, 1964).

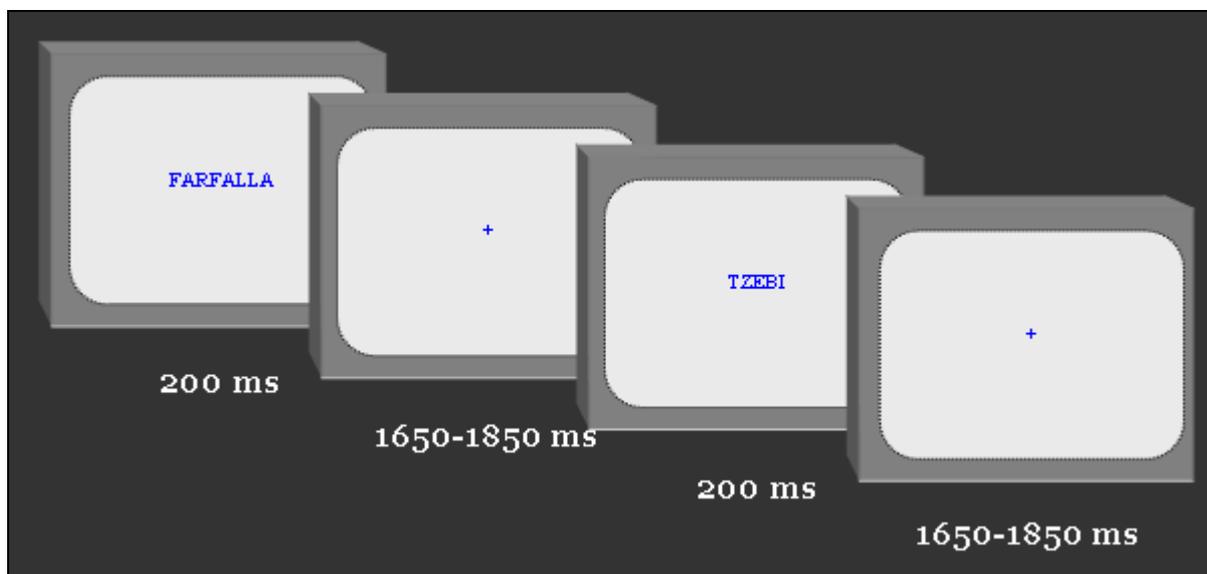
### **3.2.2 Stimoli e Procedura**

Gli stimoli consistevano in una serie di stringhe linguistiche (in tutto 400), suddivisa in 100 parole esistenti, 100 pseudoparole legali "derivate", 100 pseudoparole legali "non derivate" e 100 stringhe di lettere. Le pseudoparole legali "derivate" erano ottenute cambiando una lettera di parole esistenti (ad esempio *Colomba-Colemba*); le pseudoparole legali "non derivate" erano pseudoparole che rispettavano le regole di conversione grafema-fonema specifiche della lingua, ma che non richiamavano in alcun modo una parola esistente. Le stringhe di lettere erano sequenze di vocali e consonanti che non rispettavano le regole di conversione grafema-fonema specifiche dell'italiano.

Tutti gli stimoli sono stati bilanciati per lunghezza, che variava da 4 a 8 caratteri (P = 6.08, DS = 1.38; PsD = 6.15, DS = 1.34; PsND = 6.15, DS = 1.35; S = 6.12, DS = 1.37); in più, le parole presentate e le parole dalle quali sono state create le pseudoparole derivate sono state bilanciate per frequenza d'uso (parole presentate = 22.11; DS = 33.67; parole usate per derivare le pseudoparole = 20.51; DS = 34.31). Il bilanciamento degli stimoli è stato verificato tramite un t-test, che non è risultato significativo ad un livello di  $p = 0.1$ . La frequenza d'uso delle parole è stata calcolata utilizzando il Corpus e Lessico di Frequenza dell'Italiano Scritto (CoLFIS, Bertinetto e coll., 2006). Il corpus di riferimento è costituito da testi tratti da quotidiani, periodici e libri; consta di 3.798.275 ricorrenze lessicali. I valori di frequenza degli stimoli erano misurati in termini di frequenza assoluta.

Gli stimoli erano presentati uno per uno al centro di un monitor a colori collegato ad un computer situato fuori dalla cabina di registrazione, nel carattere Times New Roman maiuscolo, ed erano blu su sfondo bianco (si veda la Figura 3.1). La loro lunghezza variava da

4 a 9 cm, erano alti 1 cm e mediamente sottendevano un angolo visivo pari a  $0^{\circ}30'10''$  in riferimento alla loro altezza, un angolo visivo variabile da  $2^{\circ}1'41''$  a  $4^{\circ}32'32''$  in riferimento alla loro lunghezza.



**Figura 3.1 Procedura sperimentale.**

Sono state create sei sequenze sperimentali, ciascuna delle quali conteneva un ugual numero di parole, pseudoparole derivate, pseudoparole non derivate e stringhe di lettere, presentate in modo randomizzato. Ogni sequenza sperimentale durava circa 2.5 minuti e cominciava con la presentazione di tre parole di avvertimento (“ATTENZIONE”, “PRONTI”, “VIA”), ciascuna della durata di 500 ms. Gli stimoli rimanevano sullo schermo per 200 ms ed erano seguiti da un ISI compreso fra 1650 e 1850 ms. Durante l’ISI, permaneva al centro dello schermo un punto di fissazione (una crocetta blu), sul quale i partecipanti erano istruiti a mantenere lo sguardo. L’ordine delle sequenze sperimentali è stato controbilanciato fra i partecipanti.

I partecipanti venivano fatti sedere su una poltrona posta all’interno di una cabina anecoica ed elettricamente schermata (gabbia di Faraday), ad una distanza di circa 114 cm da un monitor PC ad alta risoluzione. Erano istruiti a minimizzare qualsiasi movimento degli occhi e del corpo durante il periodo di registrazione.

Il compito consisteva nel premere un tasto con il dito indice della mano ogni volta che lo stimolo presentato era una parola esistente e un tasto diverso con il dito medio della stessa mano nel caso in cui lo stimolo presentato fosse una stringa di lettere senza significato (compito di decisione lessicale). Ad ogni partecipante veniva fornito un foglio con le istruzioni del compito, che erano ulteriormente illustrate a voce dallo sperimentatore. Prima dell’inizio di ogni sequenza lo sperimentatore suggeriva con quale mano rispondere, in modo che il soggetto usasse alternativamente la mano destra e sinistra. La sequenza delle mani con cui rispondere è stata controbilanciata fra i partecipanti. Per consentire una maggior familiarità con il compito, è stata predisposta una fase di addestramento costituita da due

sequenze, ciascuna di 40 stimoli, costruite seguendo gli stessi criteri adottati per le sequenze sperimentali.

### **3.2.3 Registrazione EEG**

L'attività bio-elettrica cerebrale era registrata in modo continuo attraverso l'uso di una cuffia elastica (Electro-Cap) a 128 canali, disposti in accordo con il sistema 10-5 (Oostenveld & Praamstra, 2001), con una frequenza di campionamento pari a 512 Hz. Per rilevare gli spostamenti saccadici orizzontali si utilizzavano due elettrodi in collegamento bipolare, uno all'esterno dell'occhio destro e uno all'esterno dell'occhio sinistro (canale hEOG); i movimenti oculari verticali e gli ammiccamenti erano rilevati da due elettrodi posti sopra il sopracciglio e sotto la palpebra dell'occhio destro (canale vEOG). Gli elettrodi di riferimento erano collocati sui lobi delle orecchie (riferimento a orecchie riunificate o *averaged ears*).

L'EEG e l'elettrooculogramma (EOG) erano registrati usando il software Cognitrace (ANT Software, Enschede, The Netherlands) ed erano amplificati con un filtro passa banda di 0.016-100 Hz. L'impedenza degli elettrodi era mantenuta sotto i 5 k $\Omega$ . La reiezione degli artefatti era applicata prima del processo di *averaging* allo scopo di scartare le epoche in cui si verificavano movimenti oculari, ammiccamenti o potenziali muscolari eccessivi. Il criterio utilizzato per la reiezione degli artefatti era un'ampiezza picco-picco eccedente 50  $\mu$ V. Le epoche EEG erano sincronizzate con la comparsa degli stimoli e analizzate con il software EEProbe (ANT Software, Enschede, The Netherlands). La linea di base era corretta a partire da 100 ms prima della comparsa dello stimolo fino alla presentazione dello stesso (da -100 a 0 ms). Le onde ERP venivano estratte tramite la tecnica dell'*averaging off-line* a partire da 100 ms prima della comparsa dello stimolo fino a 1000 ms dopo la presentazione dello stimolo. Le onde ERP associate alle risposte comportamentali scorrette erano escluse dalle analisi. Dopo il processo di averaging, le onde ERP venivano trattate con un filtro passa banda di 0.016-40 Hz.

Le mappe topografiche di voltaggio degli ERP sono state create mappando su una scala colorimetrica le linee isopotenziali derivate interpolando i valori di voltaggio fra i siti elettrodi superficiali a specifiche latenze temporali.

LORETA (*Low Resolution Electromagnetic Tomography*, Pasqual-Marqui e coll., 1994) è stata applicata alle onde di differenza degli ERP a diverse latenze con il software ASA4 (ANT Software, Enschede, The Netherlands). Si tratta di una soluzione lineare discreta al problema inverso, corrispondente alla distribuzione tridimensionale dell'attività elettrica neuronale che ha la massima somiglianza (o sincronizzazione), in termini di orientamento e forza, fra popolazioni neurali vicine (rappresentate da voxel adiacenti). In particolare, è stata usata una versione avanzata di LORETA standardizzata (swLORETA) (Palmero-Soler e coll., 2007). Le

proprietà dello spazio di riferimento erano le seguenti: grid spacing = 5 mm; Tikhonov regularization: estimated SNR = 3.

### **3.2.4 Analisi dei dati**

Per ogni partecipante, sono stati esclusi dalle analisi statistiche i tempi di reazione che eccedevano la media di  $\pm 2$  deviazioni standard. I tempi di reazione medi e l'accuratezza, valutata mediante la trasformazione in arcoseno, sono stati analizzati tramite l'ANOVA per misure ripetute. Sono stati presi in esame i seguenti fattori di variabilità: categoria linguistica (4 livelli: parole, pseudoparole derivate, pseudoparole non derivate e stringhe), mano usata per rispondere (2 livelli: destra e sinistra). Le componenti ERP d'interesse sono state analizzate mediante l'ANOVA per misure ripetute sull'ampiezza media (*mean amplitude*) dell'onda, prendendo in esame diversi fattori di variabilità, a seconda dello scopo dello studio. Sono stati applicati i post-hoc Tukey test per i confronti tra le medie.

Nel primo studio sono stati presi in considerazione i seguenti fattori di variabilità: categoria linguistica (4 livelli: parole, pseudoparole derivate, pseudoparole non derivate e stringhe), elettrodo (diverso in funzione delle componenti ERP misurate) ed emisfero cerebrale (2 livelli: sinistro e destro). In particolare, per le componenti posteriori è stata misurata l'ampiezza media del segnale in una finestra temporale compresa fra 295 e 395 ms sugli elettrodi PO9, PO10, P9, P10; per le componenti centro-parietali è stata misurata l'ampiezza media del segnale in una finestra temporale compresa fra 250 e 350 ms sugli elettrodi CP5, CP6, TTP7h, TTP8h. Inoltre è stata effettuata un'analisi della latenza e ampiezza del picco della componente P300 sugli elettrodi CP5 e CP6.

Nel secondo studio sono stati presi in considerazione i seguenti fattori di variabilità: categoria lessicale (3 livelli: parole, pseudoparole derivate, pseudoparole non derivate), elettrodo (diverso in funzione delle componenti ERP misurate) ed emisfero cerebrale (2 livelli: sinistro e destro). In particolare, per le componenti anteriori è stata misurata l'ampiezza media del segnale in tre finestre temporali, la prima (200-250 ms) sugli elettrodi FFC1h, FFC2h, FFC3h, FFC4h, la seconda (250-340 ms) e la terza (340-400 ms) sugli elettrodi AFF1, AFF2, AFp3h, AFp4h; per le componenti posteriori è stata misurata l'ampiezza media del segnale nella finestra temporale compresa fra 400 e 600 ms sugli elettrodi PO9, PO10, P9, P10.

### 3.3 Risultati

#### 3.3.1 Risultati comportamentali

L'analisi dei tempi di reazione ha messo in evidenza un effetto della categoria lessicale ( $F_{3,33} = 8.06$ ;  $p < 0.001$ ). Il confronto fra i valori medi ha consentito di osservare che i soggetti erano più veloci nel rispondere alle parole piuttosto che alle pseudoparole, con un costo maggiore nel caso delle pseudoparole derivate ( $P = 554$  ms,  $DS = 47.75$ ;  $PsD = 622$  ms,  $DS = 108.31$ ;  $PsND = 567$  ms,  $DS = 92.42$ ;  $S = 532$  ms,  $DS = 39.78$ ); le risposte più veloci sono state registrate per le stringhe (si veda la Figura 3.2). I confronti post-hoc hanno messo in evidenza una differenza significativa soltanto fra l'elaborazione delle pseudoparole derivate e le altre categorie di stimoli ( $PsD$  vs.  $P$ :  $p < 0.01$ ;  $PsD$  vs.  $PsND$ :  $p < 0.05$ ;  $PsD$  vs.  $S$ :  $p < 0.001$ ).

L'analisi dell'accuratezza (categorizzazioni scorrette) ha messo in evidenza un effetto della categoria lessicale ( $F_{3,33} = 21.58$ ;  $p < 0.001$ ). Il confronto fra le percentuali d'errore ha consentito di osservare che i soggetti commettevano più errori rispondendo alle parole e alle pseudoparole derivate, piuttosto che alle pseudoparole non derivate e alle stringhe ( $P = 6.69\%$ ;  $PsD = 4.42\%$ ;  $PsND = 1.07\%$ ;  $S = 0.51\%$ , Figura 3.2); i confronti post-hoc hanno confermato quest'osservazione ( $P$  vs.  $PsD$ : n.s.;  $P$  vs.  $PsND$ :  $p < 0.001$ ;  $P$  vs.  $S$ :  $p < 0.001$ ;  $PsD$  vs.  $PsND$ :  $p < 0.001$ ;  $PsD$  vs.  $S$ :  $p < 0.001$ ;  $PsND$  vs.  $S$ : n.s.).

Nel complesso il numero di omissioni era molto basso ( $P = 0.42\%$ ;  $PsD = 1.10\%$ ;  $PsND = 0.75\%$ ;  $S = 1.75\%$ ) e non differiva in modo statisticamente significativo fra le categorie linguistiche.

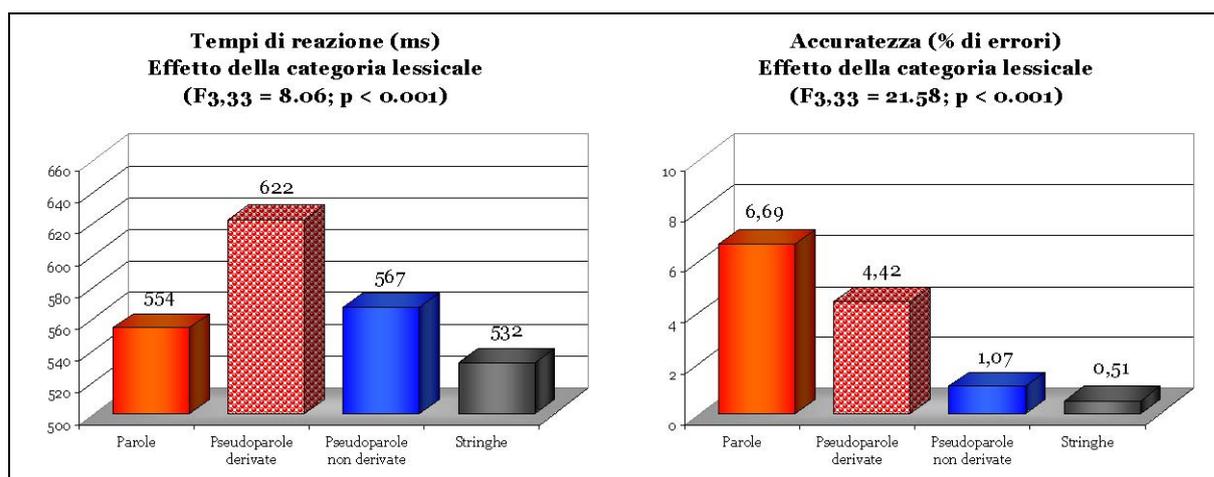
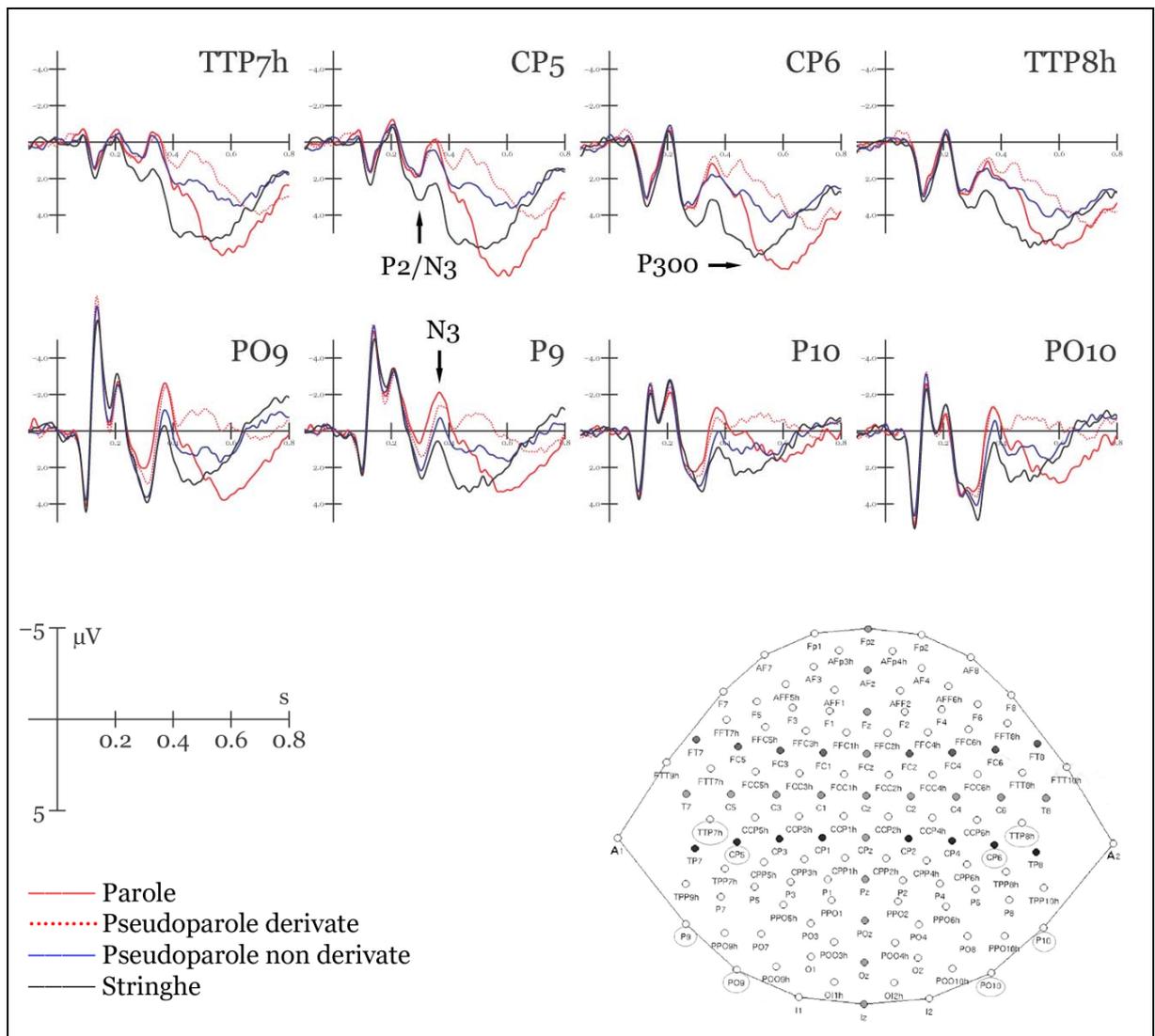


Figura 3.2 Risultati comportamentali.

### 3.3.2 Risultati elettrofisiologici: il ruolo della legalità ortografica e della familiarità visiva

La Figura 3.3 mostra le grandi medie ERP registrate in risposta alle parole, alle pseudoparole derivate, alle pseudoparole non derivate, alle stringhe e rappresenta un riassunto dei risultati descritti qui di seguito. L'ordine di presentazione dei risultati rispecchia la latenza delle componenti analizzate.

L'analisi della componente P1, che raggiungeva la massima ampiezza sui siti occipitali intorno a 100 ms, nonché l'analisi della componente N1, che raggiungeva la massima ampiezza sui siti occipito-laterali intorno a 140 ms, non ha rivelato alcun effetto significativo delle categorie stimolo prese in esame nei due studi.



**Figura 3.3** Grandi medie ERP registrate in risposta alle parole (linea continua rossa), alle pseudoparole derivate (linea tratteggiata rossa), alle pseudoparole non derivate (linea continua blu) e alle stringhe (linea continua nera).

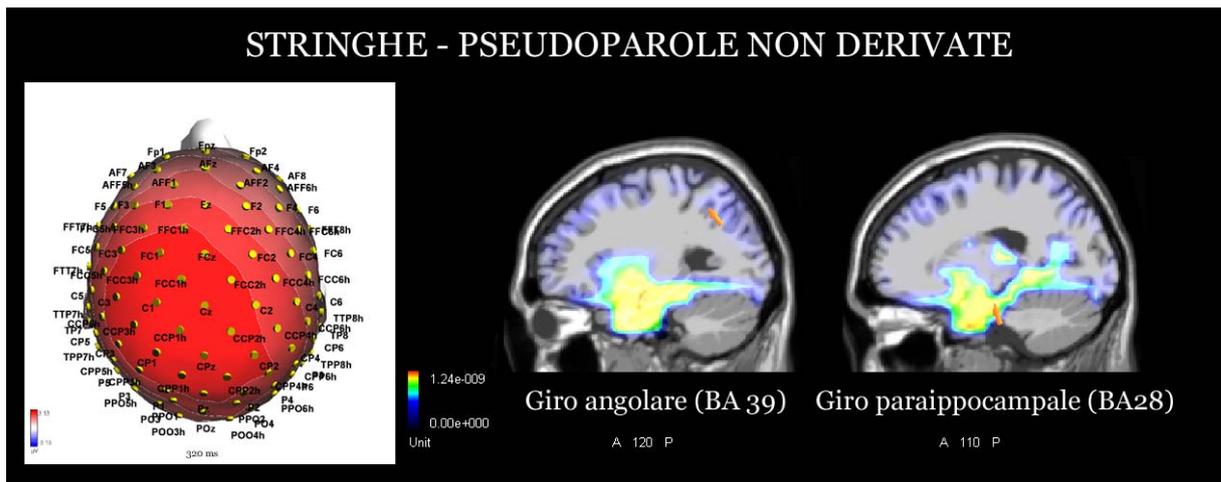
### **Componente P2/N3 temporo-parietale (250-350 ms)**

Questa componente raggiungeva la massima ampiezza sui siti centro-parietali e temporali (CP5, CP6, TTP7h, TTP8h). L'effetto della categoria lessicale ( $F_{3,33} = 6.70$ ;  $p < 0.005$ ) ha mostrato che le stringhe evocavano una risposta maggiore (più positiva) rispetto alle altre categorie linguistiche ( $P = 1.54$ ;  $PsD = 1.35$ ;  $PsND = 1.38$ ;  $S = 2.81 \mu V$ ). I confronti post-hoc hanno messo in evidenza una differenza significativa fra l'elaborazione delle stringhe e l'elaborazione delle altre categorie linguistiche ( $P$  vs.  $S$ :  $p < 0.05$ ;  $PsD$  vs.  $S$ :  $p < 0.005$ ;  $PsND$  vs.  $S$ :  $p < 0.005$ ). L'effetto dell'elettrodo ( $F_{1,11} = 14.78$ ;  $p < 0.005$ ) ha mostrato come la risposta registrata sugli elettrodi centro-parietali (CP5-CP6) fosse maggiore rispetto a quella registrata sugli elettrodi temporali ( $CP5-CP6 = 2.14$ ;  $TTP7h-TTP8h = 1.40 \mu V$ ). Infine l'effetto dell'emisfero ( $F_{1,11} = 16.23$ ;  $p < 0.005$ ) ha mostrato che la risposta registrata sull'emisfero destro era maggiore rispetto alla risposta registrata sull'emisfero sinistro ( $ES = 1.01$ ;  $ED = 2.53 \mu V$ ).

Allo scopo di individuare la possibile origine neurale di questo effetto, LORETA è stata applicata sull'onda di differenza (*difference wave*) ottenuta sottraendo le risposte ERP alle pseudoparole non derivate da quelle evocate dalle stringhe, in una finestra temporale compresa fra 300 e 350 ms. La soluzione inversa ha mostrato che l'elaborazione delle stringhe di lettere illegali dal punto di vista fonologico era associata ad una forte attività di una serie di regioni dell'emisfero sinistro e destro, elencate nella Tabella 3.1, che includevano il giro angolare (BA 39) e le aree precentrale e postcentrale dell'emisfero sinistro (si veda la Figura 3.4).

<b>Magnitudo (E-10)</b>	<b>T-x [mm]</b>	<b>T-y [mm]</b>	<b>T-z [mm]</b>	<b>Emisfero</b>	<b>Lobo</b>	<b>Giro</b>	<b>BA</b>
12,4	-18,5	-16,1	-22,2	S	Limbico	Giro paraippocampale	28
12,2	-8,5	-18,2	0,1	S	Sub-lobo	Talamo, corpo mammillare	
11,9	21,2	-24,5	-15,5	D	Limbico	Giro paraippocampale	35
11,8	11,3	-9,4	-14	D	Limbico	Giro paraippocampale	34
10,5	50,8	-0,6	-28,2	D	T	Giro temporale medio	21
8,89	40,9	-76,2	-11,7	D	O	Giro fusiforme	19
9,53	1,5	-20,3	26,8	D	Limbico	Giro del cingolo	23
6,32	-28,5	-60,8	32,3	S	P	Giro angolare	39
6,24	-38,5	2,4	29,4	S	F	Giro precentrale	6
5,89	-38,5	-21	35,7	S	P	Giro postcentrale	3

**Tabella 3.1 Coordinate Talairach relative ai generatori intracorticali che spiegano la distribuzione di voltaggio registrata in corrispondenza dell'onda di differenza "stringhe – pseudoparole non derivate" in un intervallo temporale compreso fra 300 e 350 ms. Power RMS = 37,5  $\mu V$ .**



**Figura 3.4** A sinistra: distribuzione di voltaggio della componente P2/N3 temporo-parietale in corrispondenza dell'onda di differenza “stringhe – pseudoparole non derivate”. A destra: localizzazione del generatore intracorticale in corrispondenza della stessa onda ERP (300-350 ms). Sono illustrati i dipoli corrispondenti all'attivazione del giro angolare e del giro paraippocampale dell'emisfero sinistro.

### ***Componente N3 occipitale laterale (295-395 ms)***

Questa componente raggiungeva la massima ampiezza sui siti occipitali laterali e occipito-temporali (PO9, PO10, P9, P10). L'effetto della categoria lessicale ( $F_{3,33} = 11.57$ ;  $p < 0.001$ ) ha mostrato l'esistenza di un gradiente di attivazione: le parole evocavano la risposta più ampia (più negativa), seguite dalle pseudoparole derivate e dalle pseudoparole non derivate; le stringhe evocavano la risposta meno ampia ( $P = -0.12$ ;  $PsD = 0.36$ ;  $PsND = 1.20$ ;  $S = 1.98 \mu V$ ). I confronti post-hoc hanno messo in evidenza una differenza significativa fra l'elaborazione delle parole e delle pseudoparole non derivate ( $p < 0.01$ ), ma non fra l'elaborazione delle parole e delle pseudoparole derivate; inoltre le stringhe si differenziavano dalle parole e dalle pseudoparole derivate ( $P$  vs.  $S$ :  $p < 0.001$ ;  $PsD$  vs.  $S$ :  $p < 0.005$ ). L'interazione “Categoria lessicale x Elettrodo x Emisfero” ( $F_{3,33} = 4.47$ ;  $p < 0.01$ ), ha consentito di aggiungere l'osservazione che, oltre alle significatività riscontrate nell'effetto della categoria lessicale, è possibile rilevare una differenza significativa fra l'elaborazione delle parole e delle pseudoparole derivate in funzione dell'elettrodo preso in esame. Infatti tale differenza risultava massima sull'elettrodo P9, ovvero sulla regione occipito-temporale dell'emisfero sinistro (confronti post-hoc P9:  $P$  vs.  $PsD$   $p < 0.001$ ; PO9:  $P$  vs.  $PsD$   $p < 0.005$ ; P10:  $P$  vs.  $PsD$   $p < 0.05$ ; PO10:  $P$  vs.  $PsD$  n.s.). Il confronto fra i valori medi ha confermato quest'ultima osservazione (PO9:  $P = -0.34$ ;  $PsD = 0.17$ ;  $PsND = 1.17$ ;  $S = 1.78 \mu V$ ; PO10:  $P = 0.67$ ;  $PsD = 0.79$ ;  $PsND = 1.61$ ;  $S = 2.58 \mu V$ ; P9:  $P = -0.98$ ;  $PsD = -0.11$ ;  $PsND = 0.58$ ;  $S = 1.56 \mu V$ ; P10:  $P = 0.18$ ;  $PsD = 0.59$ ;  $PsND = 1.43$ ;  $S = 1.99 \mu V$ ).

LORETA è stata applicata sull'onda di differenza “parole meno pseudoparole derivate” e sull'onda di differenza “pseudoparole derivate meno pseudoparole non derivate” nella latenza della N3 occipito-laterale, in particolare nell'intervallo compreso fra 295 e 325 ms. Come si evince osservando le Tabelle 3.2 e 3.3, nonché la Figura 3.5, la soluzione inversa per l'onda di

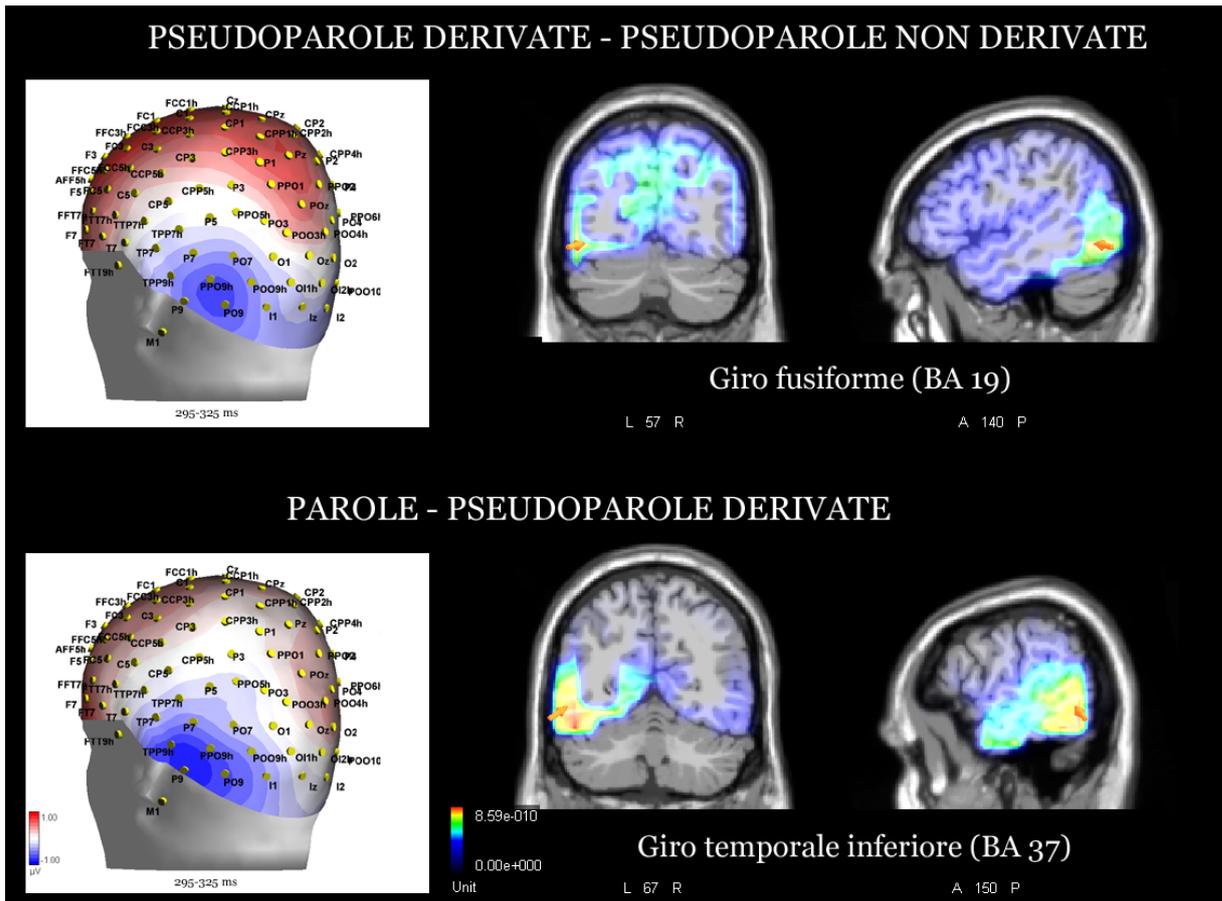
differenza “pseudoparole derivate meno pseudoparole non derivate” mostra un grande focus di attivazione nella BA 19 (x = -49; y = -66; z = -11), corrispondente al giro fusiforme dell’emisfero sinistro, mentre la soluzione inversa per l’onda di differenza “parole meno pseudoparole derivate”, mostra un grande focus di attivazione nella BA 37 (x = -59; y = -56; z = -10) e nella BA 20 (x = -39; y = -15; z = -30), in corrispondenza del lobo temporale inferiore dell’emisfero sinistro.

<i>Magnitudo (E-10)</i>	<i>T-x [mm]</i>	<i>T-y [mm]</i>	<i>T-z [mm]</i>	<i>Emisfero</i>	<i>Lobo</i>	<i>Giro</i>	<i>BA</i>
7,38	-48,5	-66,1	-10,9	S	T	Giro fusiforme	19
6,43	31	-70	22,5	D	O	Precuneo	31
6,05	-8,5	-18,2	0,1	S	Sub-lobo	Talamo, corpo mammillare	
5,99	50,8	-47,8	6,4	D	T	Giro temporale superiore	22
5,94	50,8	-33,7	-23,6	D	T	Giro fusiforme	20
5,94	31	-16,8	-14,8	S	P	Giro sopramarginale	40
5,89	-28,5	-15,3	-29,6	S	Limbico	Uncus	20
5,74	50,8	-55,9	-10,2	D	T	Giro temporale inferiore	20
4,87	1,5	-20,3	26,8	D	Limbico	Giro del cingolo	23
4,61	-38,5	2,4	29,4	S	F	Giro precentrale	6
3,97	1,5	38,2	-17,9	D	F	Giro frontale mediale	11
3,78	-8,5	57,3	-9	S	F	Giro frontale superiore	10
3,20	-8,5	65,3	7,9	L	F	Giro frontale superiore	10

**Tabella 3.2** Coordinate Talairach relative ai generatori intracorticali che spiegano la distribuzione di voltaggio registrata in corrispondenza dell’onda di differenza “pseudoparole derivate – pseudoparole non derivate” in un intervallo temporale compreso fra 295 e 325 ms. Power RMS = 23,3 µV.

<i>Magnitudo (E-10)</i>	<i>T-x [mm]</i>	<i>T-y [mm]</i>	<i>T-z [mm]</i>	<i>Emisfero</i>	<i>Lobo</i>	<i>Giro</i>	<i>BA</i>
8,59	-58,5	-55,9	-10,2	S	T	Giro temporale inferiore	37
8,42	-38,5	-15,3	-29,6	S	T	Giro temporale inferiore	20
7,74	1,5	38,2	-17,9	D	F	Giro frontale mediale	11
7,06	21,2	-0,6	-28,2	D	Limbico	Uncus	36
6,69	-38,5	27,2	-11,2	S	F	Giro frontale inferiore	47
5,64	-28,5	44,4	15	S	F	Giro frontale medio	10
5,24	31	-88,3	3	D	O	Giro frontale medio	18
4,14	1,5	-13	27,7	D	Limbico	Giro del cingolo	23

**Tabella 3.3** Coordinate Talairach relative ai generatori intracorticali che spiegano la distribuzione di voltaggio registrata in corrispondenza dell’onda di differenza “parole – pseudoparole derivate” in un intervallo temporale compreso fra 295 e 325 ms. Power RMS = 20,7 µV.



**Figura 3.5** Distribuzione di voltaggio e localizzazione del generatore intracorticale in corrispondenza dell'onda di differenza "pseudoparole derivate – pseudoparole non derivate" e "parole – pseudoparole derivate" nella latenza della componente N3 occipitale laterale (295-325 ms). Le immagini LORETA illustrano i dipoli corrispondenti all'attivazione del giro fusiforme (pseudoparole derivate – pseudoparole non derivate) e del giro temporale inferiore (parole – pseudoparole derivate) dell'emisfero sinistro.

### ***Componente P300 al compito***

Per l'analisi di questa componente, sono stati presi in esame i siti centro-parietali (CP5, CP6). L'analisi della latenza della P300 ha messo in evidenza un effetto della categoria lessicale ( $F_{3,33} = 37.79$ ;  $p < 0.001$ ), che ha dimostrato come l'onset di questa componente riflettesse l'andamento dei tempi di reazione, con una risposta precoce alle stringhe (484 ms), intermedia alle parole (570 ms) e alle pseudoparole non derivate (589 ms), e una risposta più tardiva alle pseudoparole derivate (680 ms). I confronti post-hoc hanno confermato che questa componente rifletteva l'andamento dei risultati comportamentali, mettendo in evidenza una chiara differenza di attivazione fra le stringhe e le altre categorie di stimoli (P vs. S:  $p < 0.001$ ; PsD vs. S:  $p < 0.001$ ; PsND vs. S:  $p < 0.001$ ), oltre che fra le pseudoparole derivate e le altre categorie di stimoli (PsD vs. P:  $p < 0.001$ ; PsD vs. PsND:  $p < 0.001$ ).

Per quanto riguarda l'analisi dell'ampiezza della P300, l'effetto della categoria lessicale ( $F_{3,33} = 10.51$ ;  $p < 0.001$ ) ha mostrato l'esistenza di un gradiente di attivazione in cui le parole evocavano la risposta più ampia (più positiva), seguite dalle stringhe, le pseudoparole derivate e le pseudoparole non derivate (P = 8.50; PsD = 5.30; PsND = 5.18; S = 7.24  $\mu$ V). I

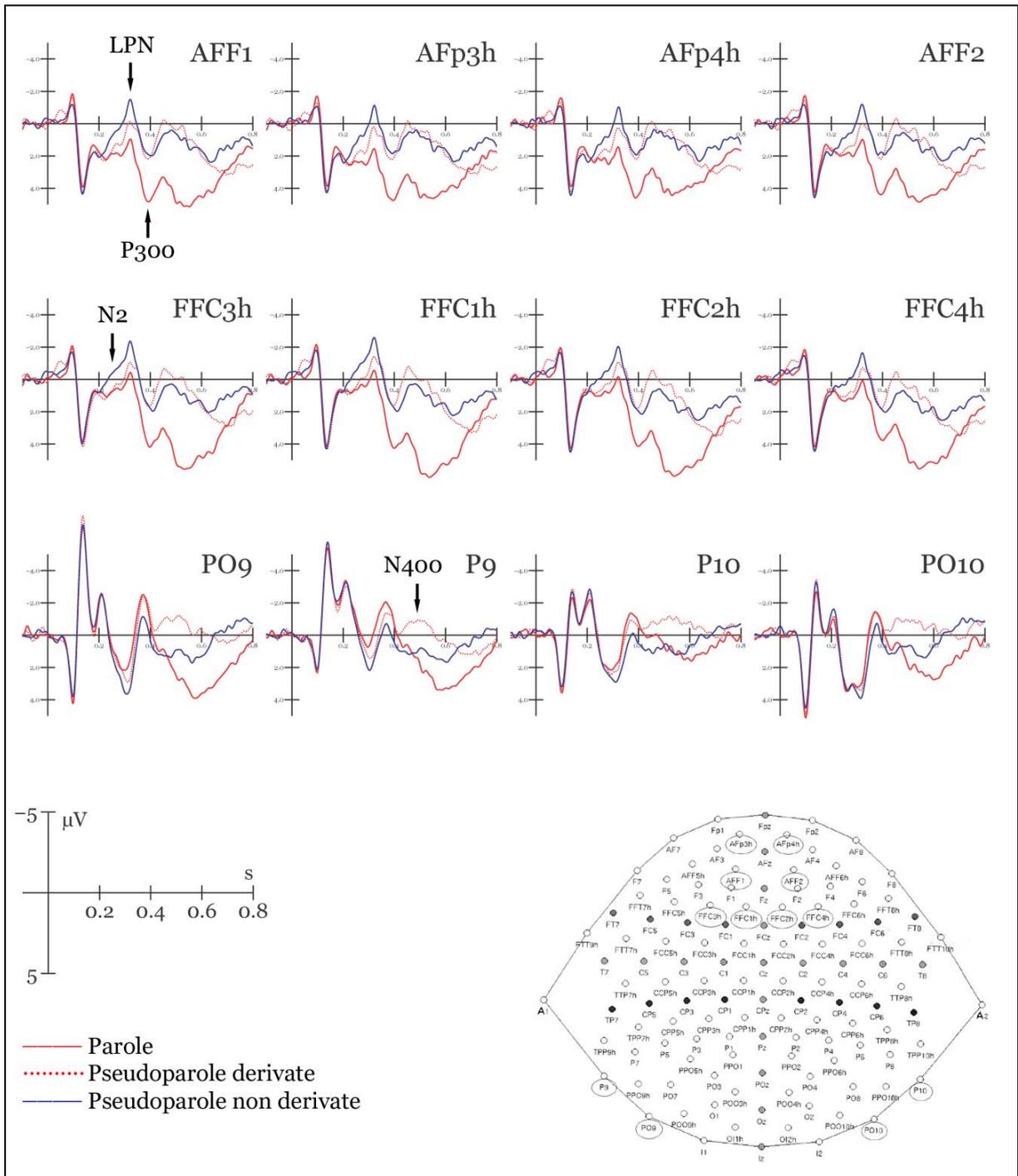
confronti post-hoc hanno messo in evidenza una differenza significativa fra l'elaborazione delle parole e delle stringhe rispetto all'elaborazione delle pseudoparole derivate e non derivate (P vs. PsD:  $p < 0.001$ ; P vs. PsND:  $p < 0.001$ ; P vs. S n.s.; PsD vs. PsND n.s.; PsD vs. S:  $p < 0.05$ ; PsND vs. S:  $p < 0.05$ ). Infine, l'interazione "Categoria lessicale x Emisfero" ( $F_{3,33} = 2.91$ ;  $p < 0.05$ ), ha consentito di osservare che l'effetto era maggiore sull'emisfero sinistro piuttosto che sull'emisfero destro (ES: P = 8.75; PsD = 5.13; PsND = 4.91; S = 7.25  $\mu V$ ; ED: P = 8.24; PsD = 5.47; PsND = 5.46; S = 7.24  $\mu V$ ).

### **3.3.3 Risultati elettrofisiologici: le dinamiche temporali dell'elaborazione lessicale**

La Figura 3.6 mostra le grandi medie ERP registrate in risposta alle parole, alle pseudoparole derivate e alle pseudoparole non derivate e rappresenta un riassunto dei risultati descritti in seguito. Come nel caso dello studio precedente, l'ordine di presentazione dei risultati rispecchia la latenza delle componenti analizzate.

#### ***Componente N2 anteriore (200-250 ms)***

Questa componente raggiungeva la massima ampiezza sui siti fronto-centrali (FFC1h, FFC2h, FFC3h, FFC4h). L'interazione "Categoria lessicale x Emisfero" ( $F_{2,22} = 5.39$ ;  $p < 0.05$ ), ha dimostrato come la risposta associata alle pseudoparole non derivate fosse significativamente maggiore (più negativa) rispetto alla risposta associata alle parole e alle pseudoparole derivate, mentre le ultime due categorie di stimoli non differivano fra di loro. I confronti post-hoc hanno rivelato una differenza significativa fra la risposta alle parole e alle pseudoparole non derivate ( $p < 0.001$ ) e fra la risposta alle pseudoparole derivate e alle pseudoparole non derivate ( $p < 0.001$ ) in entrambi gli emisferi. Il confronto fra i valori medi ha mostrato come quest'effetto fosse maggiore nell'emisfero sinistro rispetto all'emisfero destro (ES: P = 0.82; PsD = 0.93; PsND = 0.08  $\mu V$ ; ED: P = 0.98; PsD = 0.84; PsND = 0.33  $\mu V$ ). Inoltre, è stato osservato un effetto dell'elettrodo ( $F_{1,11} = 11.89$ ;  $p < 0.005$ ), che ha mostrato come la risposta registrata sugli elettrodi mediali (FFC1h-FFC2h) fosse maggiore rispetto a quella registrata sugli elettrodi più laterali (FFC1h-FFC2h = 0.57; FFC3h-FFC4h = 0.76  $\mu V$ ).



**Figura 3.6** Grandi medie ERP registrate in risposta alle parole (linea continua rossa), alle pseudoparole derivate (linea tratteggiata rossa) e alle pseudoparole non derivate (linea continua blu) e alle stringhe (linea continua nera).

**Componente LPN (Lexical Processing Negativity, 250-340 ms)**

Questa componente raggiungeva la massima ampiezza su siti più anteriori rispetto a quelli descritti per la finestra temporale precedente (AFF1, AFF2, AFp3h, AFp4h). L'effetto della categoria lessicale ( $F_{2,22} = 19.62$ ;  $p < 0.001$ ) ha consentito di osservare un gradiente di attivazione: le pseudoparole non derivate evocavano la risposta più ampia (più negativa), le pseudoparole derivate evocavano una risposta intermedia e le parole una risposta inferiore ( $P = 1.91$ ;  $PsD = 1.01$ ;  $PsND = 0.02 \mu V$ ). I confronti post-hoc tra le medie hanno suggerito

l'esistenza di una differenza significativa sia nell'elaborazione delle parole e delle pseudoparole derivate ( $p < 0.05$ ) sia nell'elaborazione delle parole e delle pseudoparole non derivate ( $p < 0.001$ ). Inoltre risultava significativa la differenza fra le pseudoparole derivate e le pseudoparole non derivate ( $p < 0.01$ ). L'effetto dell'elettrodo ( $F_{1,11} = 15.01$ ;  $p < 0.005$ ) ha mostrato come la risposta registrata sugli elettrodi AFF1-AFF2 fosse maggiore rispetto alla risposta registrata sugli elettrodi AFp3h-AFp4h (AFF1-AFF2 = 0.78; AFp3h-AFp4h = 1.18  $\mu V$ ).

### ***Componente P300 (340-400 ms)***

Per l'analisi di questa componente sono stati presi in considerazione gli stessi siti descritti per la finestra temporale precedente (AFF1, AFF2, AFp3h, AFp4h). L'effetto della categoria lessicale ( $F_{2,22} = 26.23$ ;  $p < 0.001$ ) ha messo in evidenza una chiara differenza di attivazione fra le parole e le pseudoparole ( $P = 3.76$ ;  $PsD = 1.50$ ;  $PsND = 1.22 \mu V$ ), ma non fra le due categorie di pseudoparole (confronti post-hoc  $P$  vs.  $PsD$ :  $p < 0.001$ ;  $P$  vs.  $PsND$ :  $p < 0.001$ ). L'interazione "Categoria lessicale x Emisfero" ( $F_{2,22} = 5.32$ ;  $p < 0.05$ ), ha consentito di aggiungere l'osservazione che quest'effetto era maggiore sull'emisfero sinistro rispetto all'emisfero destro (ES:  $P = 3.88$ ;  $PsD = 1.53$ ;  $PsND = 1.17 \mu V$ ; ED:  $P = 3.63$ ;  $PsD = 1.48$ ;  $PsND = 1.26 \mu V$ ). Inoltre i confronti post-hoc fra le medie hanno dimostrato che oltre ad una differenza di attivazione fra le parole e le pseudoparole ( $P$  vs.  $PsD$ :  $p < 0.001$ ;  $P$  vs.  $PsND$ :  $p < 0.001$ ) su entrambi gli emisferi, solo sull'emisfero sinistro c'era una differenza di attivazione fra le pseudoparole derivate e le pseudoparole non derivate ( $p < 0.005$ ).

### ***Componente N400 occipitale laterale (400-600 ms)***

Questa componente raggiungeva la massima ampiezza sui siti occipito-laterali e occipito-temporali (PO9, PO10, P9, P10). L'effetto della categoria lessicale ( $F_{2,22} = 11.75$ ;  $p < 0.001$ ) ha messo in evidenza come le pseudoparole derivate da parole esistenti evocassero una risposta più negativa rispetto alle pseudoparole non derivate ( $P = 1.51$ ;  $PsD = -0.53$ ;  $PsND = 0.97 \mu V$ ). I confronti post-hoc hanno rivelato una differenza significativa fra parole e pseudoparole derivate ( $p < 0.001$ ) e fra pseudoparole derivate e pseudoparole non derivate ( $p < 0.01$ ). L'interazione "Categoria lessicale x Elettrodo" ( $F_{2,22} = 12.69$ ;  $p < 0.001$ ), ha mostrato che la differenza fra le tre categorie lessicali era maggiore sui siti occipito-laterali (PO9-PO10) rispetto ai siti occipito-temporali P9-P10 (PO9-PO10:  $P = 1.85$ ;  $PsD = -0.58$ ;  $PsND = 1.00 \mu V$ ; P9-P10:  $P = 1.18$ ;  $PsD = -0.49$ ;  $PsND = 0.93 \mu V$ ). I confronti post-hoc hanno messo in evidenza una differenza significativa sia nel confronto fra parole e pseudoparole derivate ( $p < 0.001$ ) sia nel confronto fra pseudoparole derivate e pseudoparole non derivate ( $p < 0.001$ ) su entrambi gli elettrodi, ma solo sull'elettrodo PO9-PO10 risultava significativa la differenza fra le parole e le pseudoparole non derivate ( $p < 0.001$ ). Infine, l'interazione

“Categoria lessicale x Emisfero” ( $F_{2,22} = 4.63$ ;  $p < 0.05$ ), ha consentito di osservare che l’effetto era maggiore sull’emisfero sinistro rispetto che sull’emisfero destro (ES:  $P = 1.99$ ; PsD =  $-0.41$ ; PsND =  $1.04 \mu V$ ; ED:  $P = 1.04$ ; PsD =  $-0.66$ ; PsND =  $0.89 \mu V$ ). Infatti i confronti post-hoc hanno suggerito che ci fosse una differenza significativa sia fra l’elaborazione delle parole e delle pseudoparole derivate ( $p < 0.001$ ) sia fra l’elaborazione delle pseudoparole derivate e delle pseudoparole non derivate ( $p < 0.001$ ) su entrambi gli emisferi, ma solo sull’emisfero sinistro risultava significativa la differenza fra le parole e le pseudoparole non derivate ( $p < 0.005$ ).

### **3.4 Discussione**

Nel complesso i risultati di questo esperimento sembrano supportare l’ipotesi che la regione temporo-parietale sia sensibile alla legalità fonologica, mentre la regione occipito-temporale sia sensibile alla familiarità delle parole intese come oggetti visivi unitari. Infatti, sulle regioni temporali superiori, l’andamento della componente P2/N3 ha dimostrato una chiara risposta discriminativa fra le stringhe di lettere legali e le stringhe di lettere illegali, indipendentemente dal contenuto lessicale, suggerendo la probabile esistenza di una difficoltà di accesso alla forma fonologica delle stringhe illegali. Questo risultato è in linea con un classico studio di Bentin e collaboratori (1999). Usando la tecnica ERP, gli autori hanno riportato l’esistenza di una N350 con una distribuzione temporo-parietale che esibiva un andamento discriminativo fra stringhe di lettere legali dal punto di vista fonologico (parole e pseudoparole) e stringhe di lettere illegali. Si potrebbe ipotizzare che questo potenziale di superficie corrisponda ai generatori intracorticali responsabili dell’associazione delle rappresentazioni ortografiche e fonologiche. La soluzione inversa di LORETA sembra supportare quest’ipotesi. Infatti è stata riscontrata un’attivazione del giro angolare, una regione che sembra giocare un ruolo importante nell’elaborazione fonologica e in modo particolare nella conversione grafema-fonema (si veda il paragrafo 2.1).

Sui siti posteriori, nella regione occipito-temporale dell’emisfero sinistro, l’andamento della componente N3 mostrava un gradiente di attivazione per cui la risposta maggiore era registrata per le parole e la risposta minore era registrata per le stringhe illegali. L’osservazione di un gradiente di attivazione lessicale in risposta agli stimoli con diverso numero di vicini ortografici potrebbe deporre a favore dell’ipotesi che esista un lessico visivo di input, che immagazzinerebbe la forma visiva delle parole conosciute, consentendo un accesso diretto al lessico tramite una via visiva e mostrando un effetto della familiarità visiva delle parole (si veda ad esempio Hauk & Pulvermüller, 2004; Hauk e coll., 2006). I risultati di LORETA per l’onda di differenza pseudoparole derivate – pseudoparole non derivate suggeriscono che le pseudoparole più familiari (ottenute cambiando solo una lettera) erano associate ad un’attivazione maggiore del giro fusiforme dell’emisfero sinistro (BA 19). I

risultati della seconda LORETA, computata sull'onda di differenza parole – pseudoparole derivate, suggeriscono che le parole erano associate ad una maggior attivazione del giro temporale inferiore dell'emisfero sinistro (BA 37 e BA 20). Il coinvolgimento di queste regioni nei processi di elaborazione lessicale è ben documentato nella letteratura di neuroimmagine. Il confronto fra i risultati delle componenti P2/N3 temporo-parietale e N3 occipito-laterale sembra deporre a favore dell'ipotesi che la regione cerebrale che comprende il giro fusiforme dell'emisfero sinistro (VWFA) giochi un ruolo cruciale nella rappresentazione della forma visiva delle parole. Recenti studi ERP del nostro gruppo di ricerca supportano quest'ipotesi. Per esempio, Proverbio e collaboratori (2007) hanno registrato i potenziali evocati in risposta a parole presentate nell'orientamento standard o invertito durante un compito di rilevamento di una lettera target. L'inversione delle parole aveva lo scopo di determinare se le parole ruotate perdessero le loro proprietà linguistiche. La componente N1 (135-215 ms) registrata sui siti occipitali laterali dell'emisfero sinistro era maggiore in risposta alle parole ruotate rispetto a quelle presentate in modo standard ed era maggiore in risposta alle lettere target rispetto a quelle non-target. La ricostruzione del generatore tramite LORETA ha rivelato un grande focus di attivazione per l'effetto della selezione della lettera target nel giro fusiforme dell'emisfero sinistro (BA 37). In un altro studio recente, Proverbio e collaboratori (2008) hanno trovato componenti N2 e N3 più ampie in risposta alle parole ad alta frequenza d'uso rispetto a quelle a bassa frequenza d'uso o alle pseudoparole sulle aree occipitali laterali sinistre. La soluzione fornita da LORETA ha indicato un'attivazione del giro fusiforme sinistro (BA 19) e del giro temporale superiore destro (BA 22) per l'elaborazione delle parole ad alta frequenza d'uso rispetto a quelle a bassa frequenza d'uso. I risultati di questi studi sembrano suggerire che la negatività occipito-temporale potrebbe indicare l'attività della VWFA, responsabile dei processi di elaborazione ortografica e sensibile alle proprietà sub-lessicali e lessicali delle parole, come la familiarità visiva. Tornando all'esperimento descritto in questo capitolo, vorremmo sottolineare che i risultati di LORETA sull'onda di differenza parole – pseudoparole derivate suggeriscono un'attivazione delle BA 37 e BA 20, più anteriori rispetto alla BA 19, risultata fortemente attiva per il confronto pseudoparole derivate – pseudoparole non derivate. Effetti del numero di vicini ortografici lungo la corteccia temporale dell'emisfero sinistro, più anteriori in risposta alle parole piuttosto che alle pseudoparole, sono stati riportati in uno studio recente descritto nel paragrafo introduttivo di questo capitolo (Hauk e coll., 2009). Questa differenza potrebbe essere legata all'accesso lessicale/semantico delle parole esistenti; detto in altri termini, potrebbe essere interpretata con la nozione che solo le parole esistenti posseggono le caratteristiche sensoriali e concettuali in grado di attivare una regione della via ventrale che risponde a oggetti complessi ed è cruciale per il recupero dei nomi di entità viventi (in questo caso, nomi di animali e nomi di vegetali).

L'andamento della componente P300 sembrava riflettere un processo di identificazione delle non-parole più veloce quando quest'ultime erano illegali. L'effetto lessicale si concretizzava in una maggiore ampiezza della P300 in risposta alle parole piuttosto che alle pseudoparole. La minore ampiezza e la latenza più tardiva di questa componente in risposta alle pseudoparole derivate rispetto alle pseudoparole non derivate potrebbe riflettere la difficoltà nel classificare come non-parole item che inducono un'attività lessicale globale maggiore rispetto alle pseudoparole non derivate, probabilmente a causa del maggior numero di vicini ortografici. Quest'interpretazione dei risultati è in linea con l'ipotesi che l'ampiezza della P300 sia modulata dal grado di risoluzione dell'ambiguità associata alla decisione relativa agli item rilevanti per la risoluzione del compito (Johnson, 1993): maggiore è l'ammontare di ambiguità risolta maggiore la positività. Quest'ipotesi è supportata dai risultati comportamentali, che mostravano risposte più veloci alle stringhe rispetto alle pseudoparole non derivate e a queste ultime rispetto alle pseudoparole derivate. Nel complesso i nostri risultati sono in accordo con l'osservazione che i tempi di risposta alle non-parole con un alto numero di vicini ortografici sono più lenti rispetto ai tempi di risposta alle non-parole con un basso numero di vicini ortografici (Grainger & Jacobs, 1996).

L'esame delle componenti anteriori suggerisce l'esistenza di un'analisi dinamica delle caratteristiche degli stimoli linguistici, che può essere riassunta in questo modo: intorno a 200-250 ms sulle regioni fronto-centrali, le pseudoparole erano discriminate dagli stimoli più simili a delle parole esistenti e ciò si concretizzava in una negatività maggiore in risposta alle pseudoparole non derivate. Nella finestra temporale successiva, intorno a 250-340 ms le regioni frontali anteriori mostravano un gradiente lessicale che assumeva la forma di una LPN (*Lexical Processing Negativity*, negatività da elaborazione lessicale), molto sensibile alle proprietà lessicali delle parole e al numero di vicini ortografici. Quest'effetto potrebbe essere concettualizzato come un processo di estrazione (recupero) delle rappresentazioni lessicali delle parole che riflette l'attivazione lessicale globale di ciascun item. La componente LPN è stata descritta per la prima volta in uno studio di King e Kutas del 1998 nel contesto dell'elaborazione di parole di classe aperta o chiusa. Gli autori hanno proposto che la latenza di questa componente, che loro stessi hanno chiamato LPN, rifletta alcune caratteristiche lessicali delle parole, come la lunghezza e la frequenza d'uso.

Intorno ai 340-400 ms le proprietà dello stimolo analizzate sembravano corrispondere alla rappresentazione lessicale delle parole: gli item che non raggiungevano un livello sufficiente di attivazione lessicale globale erano classificati come non-parole. Sembra dunque che in corrispondenza della componente P300 ci fosse una chiara distinzione fra gli stimoli dotati di significato e quelli privi di esso, senza un gradiente lessicale condizionato dalla legalità ortografica o dal numero di vicini ortografici. I risultati delle componenti anteriori sono in linea con quelli di Braun e collaboratori (2006) descritti nel paragrafo introduttivo di questo capitolo, con la differenza che nel nostro caso è stato possibile mettere in evidenza un effetto

del numero di vicini ortografici già a partire da 200-250 ms. L'andamento delle componente P300 osservato nel nostro esperimento è del tutto analogo ai potenziali evocati misurati nella finestra temporale compresa fra 300 e 390 ms da Braun e collaboratori.

Nella finestra temporale della componente N400 (400-600 ms) sulle regioni occipito-laterali è stata riscontrata una negatività in risposta alle pseudoparole derivate. Un consistente corpus di ricerche ha riportato che il massimo picco di attivazione legato all'analisi semantica si verifica circa 400 ms dopo la presentazione dello stimolo. Nel complesso i dati attualmente a disposizione suggeriscono che la N400 sia un indice generale della facilità o della difficoltà di recupero di conoscenze concettuali immagazzinate associate ad una certa parola (o ad altri stimoli dotati di significato), che dipende sia dalla rappresentazione immagazzinata per se sia dagli indizi utili per il recupero forniti dal contesto precedente (per una revisione si veda Kutas e coll., 2006). La maggior ampiezza della componente N400 in risposta alle pseudoparole derivate da parole esistenti potrebbe aver a che fare con la difficoltà di integrare l'informazione derivante dall'attivazione lessicale indotta dallo stimolo (ovvero l'attivazione della rappresentazione della parola corrispondente) e il riconoscimento dello stimolo stesso come non-parola. È utile sottolineare che questa componente mostrava un andamento analogo a quello della componente misurata intorno a 500-680 ms da Carreiras e collaboratori (2007). Gli autori hanno interpretato quest'effetto ipotizzando che le pseudoparole più simili a parole esistenti producessero più attivazione lessicale e fossero per questo più in competizione con le parole esistenti.

In sintesi, i nostri risultati suggeriscono che le proprietà ortografiche, fonologiche e lessicali erano elaborate in parallelo in una finestra temporale compresa fra 200 e 400 ms dopo la presentazione dello stimolo. La prima evidenza che le pseudoparole derivate da parole esistenti beneficiavano della loro forma visiva, molto simile a quella delle parole esistenti, è stata osservata intorno a 200-250 ms sui siti fronto-centrali. Inizialmente (a partire da 200-250 ms dopo la presentazione dello stimolo) si osservava una risposta discriminativa fra le pseudoparole non derivate da parole esistenti e gli stimoli più simili a delle parole esistenti; progressivamente le pseudoparole simili a parole esistenti venivano assimilate alle pseudoparole non derivate, finché intorno ai 340-400 ms le proprietà dello stimolo analizzate sembravano corrispondere alla rappresentazione lessicale delle parole. Quest'effetto potrebbe essere concettualizzato come un processo di estrazione (recupero) delle informazioni lessicali delle parole e potrebbe riflettere l'attivazione lessicale globale di ciascun item. I dati forniscono evidenza che la latenza dell'effetto lessicale (discriminazione parola/non parola) possa variare in funzione del numero di vicini ortografici, essendo più veloce nel caso delle pseudoparole non derivate rispetto alle pseudoparole derivate. Nello stesso range di latenza, la regione occipito-temporale dell'emisfero sinistro (BA 19, BA 37 e BA 20) mostrava un incremento della risposta alle parole e un gradiente di attivazione in risposta alle pseudoparole con diverso numero di vicini ortografici. Alla luce della letteratura

sulla VWFA, quest'effetto potrebbe deporre a favore dell'ipotesi che esista un lessico visivo di input, che immagazzinerebbe la forma visiva delle parole conosciute, consentendo un accesso diretto al lessico tramite una via visiva e mostrando effetti precoci della familiarità delle parole. Infine è emersa l'esistenza di un effetto della legalità ortografica in un intervallo compreso fra 250 e 350 ms sui siti di registrazione temporo-parietali; questo potenziale potrebbe suggerire l'esistenza di una difficoltà di accesso alla forma fonologica delle stringhe illegali e potrebbe corrispondere ai generatori intracorticali responsabili dell'associazione fra le rappresentazioni ortografiche e fonologiche. Nel complesso i risultati elettrofisiologici e comportamentali suggeriscono che le proprietà fonologiche, che sembrano elaborate in modo parallelo durante l'analisi ortografica e lessicale, condizionino sensibilmente i processi di decisione lessicale, consentendo un rifiuto più rapido degli item che non hanno una forma fonologica riconoscibile.

## 4 Esperimento 2: i nomi di animali e di vegetali

### 4.1 Introduzione

Come abbiamo anticipato nel capitolo introduttivo, quale sia l'organizzazione dei concetti all'interno del cervello è un tema centrale delle neuroscienze cognitive. Ancora non esistono evidenze univoche che depongano in favore di uno dei modelli proposti. Un acceso dibattito riguarda la latenza dei processi di natura semantica, che secondo quanto emerge dagli studi più recenti potrebbe essere molto più precoce rispetto a quanto si riteneva in passato e potrebbe avvenire in parallelo, piuttosto che in sequenza, con altri tipi di elaborazione linguistica. In uno studio ERP del 2005, Kiefer ha sottolineato che in generale la validità dei dati relativi alle attivazioni cerebrali negli studi di neuroimmagine funzionale su soggetti sani è messa in discussione dal fatto che gli effetti della categoria semantica sono stati osservati per lo più con compiti di decisione semantica e di recupero delle parole, ma non con compiti che non richiedono un'elaborazione esplicita delle diverse categorie semantiche (si veda lo studio di meta analisi di Devlin e coll., 2002). Quest'osservazione è rilevante se consideriamo che generalmente il significato degli stimoli è attivato anche quando essi non sono attesi. Se è vero che l'attivazione cerebrale legata alle categorie semantiche riflette l'organizzazione della memoria semantica, gli effetti della categoria dovrebbero emergere anche con compiti che non richiedono un processo di categorizzazione semantica esplicito. Kiefer, utilizzando un compito di decisione lessicale, ha riscontrato una diversa attivazione cerebrale in risposta a parole appartenenti alla categoria dei viventi e non viventi; in particolare, le categorie naturali erano associate ad una positività maggiore nella finestra temporale delle componenti N400 e LPC sui siti occipito-parietali, mentre le categorie dei manufatti erano associate ad una positività maggiore nella finestra temporale della componente N400 sui siti di registrazione fronto-centrali. L'autore ha interpretato questi risultati in favore dell'esistenza di sistemi semantici multipli.

La N400 è nota come componente che riflette processi di elaborazione delle parole e di integrazione semantica contestuale (Kutas & Hillyard, 1980, 1984). Alcuni studi elettrofisiologici hanno mostrato come sia possibile mettere in evidenza un effetto della categoria semantica a latenze più precoci rispetto alla N400, nella finestra temporale del cosiddetto Potenziale di Riconoscimento (*Recognition Potential* o *RP*, si veda il paragrafo 3.1). La latenza relativamente precoce degli effetti semantici non dovrebbe sorprendere considerando che, come evidenziato nel capitolo precedente, recenti studi ERP sull'elaborazione di parole isolate hanno confermato l'esistenza di effetti lessicali più precoci rispetto alla latenza della N400 (per una revisione si veda Dien, 2009). In uno studio del 2001, finalizzato all'indagine della distribuzione topografica e del generatore intracorticale

del RP, Martín-Loeches e collaboratori hanno riscontrato una diversa ampiezza di questa componente in risposta a nomi di animali e nomi di oggetti appartenenti a categorie diverse (non-animali) e per mezzo di BESA hanno localizzato il possibile generatore intracorticale del RP nelle aree visive extrastriate, in particolare nel giro linguale e nel giro fusiforme. I partecipanti erano istruiti a premere un tasto in risposta ai nomi di animali (compito di giudizio semantico). Nonostante gli innovativi e interessanti risultati, un potenziale problema di questo studio potrebbe essere che tutte le parole appartenenti alla categoria degli animali erano stimoli target, mentre tutte le parole appartenenti alla categoria dei non-animali erano stimoli non-target, pertanto non può essere esclusa la possibilità che l'effetto riscontrato sia in qualche modo contaminato dalla selezione attentiva degli stimoli target, considerando che il RP risulta caratterizzato da una latenza e una distribuzione topografica analoga alla componente che negli studi sull'attenzione selettiva è chiamata Negatività da Selezione o *Selection Negativity* (SN). È noto che gli stimoli target evocano una SN più ampia rispetto agli stimoli non-target. Questo fenomeno è stato descritto per numerose caratteristiche visive, e recentemente è stato descritto anche nel contesto della lettura di parole (Proverbio e coll., 2007; Proverbio e coll., 2008). In un altro studio ERP, Mari-Beffa e collaboratori (2005) hanno utilizzato un paradigma di priming, in cui venivano presentate coppie di parole (prime-probe) su cui i partecipanti dovevano eseguire compiti diversi. Sulle parole che costituivano il prime di una certa coppia, i partecipanti dovevano compiere un giudizio ortografico (ricerca delle lettere A e E) o un giudizio semantico (viventi vs. non-viventi), mentre sulla seconda parola (probe) della coppia dovevano compiere un giudizio lessicale (parola vs. non parola). Lo scopo principale di questo studio era indagare il ruolo del tipo di compito sull'elaborazione semantica delle parole. In generale, dai risultati relativi alle parole prime è emersa l'esistenza di una componente posteriore precoce, che gli autori hanno identificato come RP, sensibile alla categoria semantica delle parole ma non al tipo di elaborazione richiesta (ortografica vs. semantica). Gli autori hanno ipotizzato che tale accesso semantico iniziale fosse di tipo automatico, in considerazione del fatto che l'andamento della componente P300, più tardivo, risultava influenzato dalle richieste del compito, oltre che dalla categoria semantica delle parole. In un recente studio MEG (2005), utilizzando un compito in cui i partecipanti erano istruiti a rispondere alla comparsa di nomi di manufatti (che fungevano da distrattori), Assadollahi e Rockstroh hanno trovato un effetto della categoria semantica (flora e fauna) a partire da 100-150 ms dopo la presentazione dello stimolo nella corteccia occipito-temporale dell'emisfero sinistro. Gli autori hanno interpretato i loro risultati ipotizzando che le diverse attivazioni riscontrate in risposta ai nomi di animali e vegetali non fossero dovute semplicemente a processi di elaborazione della forma visiva delle parole, e che gli effetti lessicali e semantici possano aver luogo in diverse regioni cerebrali quasi simultaneamente.

Nonostante gli intriganti risultati di questi studi, potrebbe emergere un certo scetticismo relativamente alla natura semantica degli effetti osservati, considerando che gli stimoli usati potevano differire in un certo numero di proprietà che non sono state bilanciate, ma che potrebbero aver giocato un ruolo nell'attivazione cerebrale. Uno dei possibili effetti confondenti potrebbe essere stato prodotto dal valore d'immagine delle parole. Molti studi hanno mostrato un'attivazione lungo la via visiva ventrale durante il recupero delle conoscenze relative agli attributi visivi dei concetti e durante compiti di generazione esplicita di immagini mentali (Sabsevitz e coll., 2005; Hauk e coll., 2008).

Lo scopo principale di questo esperimento era l'indagine dei processi di elaborazione semantica in un compito che non richiedesse un processo di categorizzazione semantica, pertanto un'elaborazione esplicita di informazioni semantiche. In particolare, lo scopo era di evitare che le strategie di risoluzione del compito potessero influire sul tipo di elaborazione messa in atto, inducendo ad esempio il recupero di informazioni visive piuttosto che strumentali. L'intenzione era quella di interferire il meno possibile con il tipo di analisi dello stimolo effettuata o con il tipo di conoscenze attivate. Alla luce della letteratura presa in esame, il nostro sforzo era diretto ad indagare gli effetti della categoria semantica delle parole escludendo possibili effetti confondenti legati al valore d'immagine e alla familiarità delle parole stesse e controllando possibili effetti delle grandi caratteristiche che differenziano ad esempio i manufatti dalle categorie naturali. Per questa ragione, oltre ad aver bilanciato il valore d'immagine e la familiarità delle parole, sono state selezionate due categorie semantiche "vicine", solitamente riunite sotto l'etichetta di entità viventi (nomi di animali e nomi di vegetali). Inoltre, si voleva indagare quanto precocemente fosse possibile osservare una differenza fra l'elaborazione di stimoli appartenenti a categorie semantiche diverse, allo scopo di chiarire la possibilità che esistano effetti ERP più precoci rispetto a quelli classicamente riportati per l'analisi semantica degli stimoli e replicare quanto riportato da alcuni studi recenti in condizioni di maggior controllo delle variabili che potrebbero giocare un ruolo cruciale nei processi di riconoscimento degli stimoli linguistici. In ultima analisi, la localizzazione del generatore tramite LORETA aveva lo scopo di trarre inferenze sulle regioni cerebrali coinvolte nei processi di accesso alle informazioni semantiche che guidano la discriminazione fra le diverse categorie.

## **4.2 Metodo**

I partecipanti e la procedura di questo studio sono stati descritti nel capitolo precedente. In questa sede ci focalizzeremo sulle caratteristiche degli stimoli che riguardano strettamente l'analisi delle categorie semantiche.

### **4.2.1 Stimoli**

Le parole che denotavano animali e le parole che denotavano vegetali sono state bilanciate per lunghezza (animali = 5.98; DS = 1.38; vegetali = 6.20; DS = 1.38) e frequenza d'uso (animali = 21.53; DS = 37.11; vegetali = 22.82; DS = 29.33). La frequenza d'uso delle parole è stata calcolata utilizzando il Corpus e Lessico di Frequenza dell'Italiano Scritto (CoLFIS). Inoltre sono state bilanciate per familiarità (animali = 3.92; DS = 0.91; vegetali = 4.05; DS = 0.76) e valore d'immagine (animali = 3.97; DS = 0.58; vegetali = 4.15; DS = 0.50). Il bilanciamento degli stimoli è stato verificato tramite un t-test, che non è risultato significativo ad un livello di  $p = 0.1$ . I valori riportati per la familiarità e il valore d'immagine sono stati ottenuti mediante la creazione di due questionari, somministrati a due gruppi indipendenti di 30 giudici. Ogni parola è stata valutata nel contesto di ciascun questionario mediante una scala a 5 punti. Per il questionario sulla familiarità, il primo gruppo di volontari era istruito a valutare quanto fosse usuale o inusuale nel proprio campo d'esperienza ciascuna delle parole presentate (1 = del tutto sconosciuta, 2 = quasi sconosciuta, 3 = né familiare né sconosciuta, 4 = abbastanza familiare, 5 = molto familiare); per il questionario sul valore d'immagine il secondo gruppo di volontari era istruito a valutare la velocità e la semplicità con cui una certa parola evocava un'immagine mentale (1 = molto difficile da immaginare, 2 = abbastanza difficile da immaginare, 3 = né facile né difficile da immaginare, 4 = abbastanza facile da immaginare, 5 = molto facile da immaginare). 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).

I nomi di animali e di vegetali sono stati scelti in modo che le due categorie comprendessero un ampio numero di concetti individuali che condividessero le caratteristiche della categoria sovraordinata. Allo scopo di effettuare un controllo qualitativo della variabilità interna delle due categorie, sono stati scelti nomi di esemplari che appartenessero a quattro diverse sottocategorie. La categoria degli animali comprendeva nomi di pesci, uccelli, insetti e animali a quattro zampe. La categoria dei vegetali comprendeva nomi di fiori, piante, frutta e verdura. In più, all'interno di ciascuna categoria c'erano nomi di cose che possono essere mangiate (animali: salmone, pollo; vegetali: carota, ananas) e all'interno di ciascuna categoria c'erano nomi di esemplari di grandi e di piccole dimensioni (animali: formica, vongola, elefante, balena; vegetali: mora, rosa, quercia, palma).

### **4.2.2 Analisi dei dati**

Per ogni partecipante, sono stati esclusi dalle analisi statistiche i tempi di reazione che eccedevano la media di  $\pm 2$  deviazioni standard. I tempi di reazione medi e l'accuratezza, valutata mediante la trasformazione in arcoseno, sono stati analizzati tramite l'ANOVA per

misure ripetute. Sono stati presi in considerazione i fattori categoria semantica (2 livelli: animali e vegetali) e mano usata per rispondere (2 livelli: destra e sinistra). Le componenti ERP d'interesse sono state analizzate mediante l'ANOVA per misure ripetute sull'ampiezza media (*mean amplitude*) dell'onda. Sono stati presi in considerazione i seguenti fattori di variabilità: categoria semantica (2 livelli: animali, vegetali), elettrodo (diverso in funzione delle componenti ERP misurate) ed emisfero cerebrale (2 livelli: sinistro e destro). In particolare, per le componenti posteriori è stata misurata l'ampiezza media del segnale in una finestra temporale compresa fra 170 e 220 ms sugli elettrodi P7, P8, TPP9h, TPP10h; per le componenti centro-parietali sono state prese in considerazione due finestre temporali, la prima (320-470 ms) sugli elettrodi C3, C4, CP5, CP6, la seconda (470-620 ms) sugli elettrodi CP1, CP2, PO9, PO10; infine, per le componenti anteriori è stata misurata l'ampiezza media del segnale in una finestra temporale compresa fra 530 e 680 ms sugli elettrodi FPz e AFz. Sono stati applicati i post-hoc Tukey test per i confronti tra le medie.

### **4.3 Risultati**

#### **4.3.1 Risultati comportamentali**

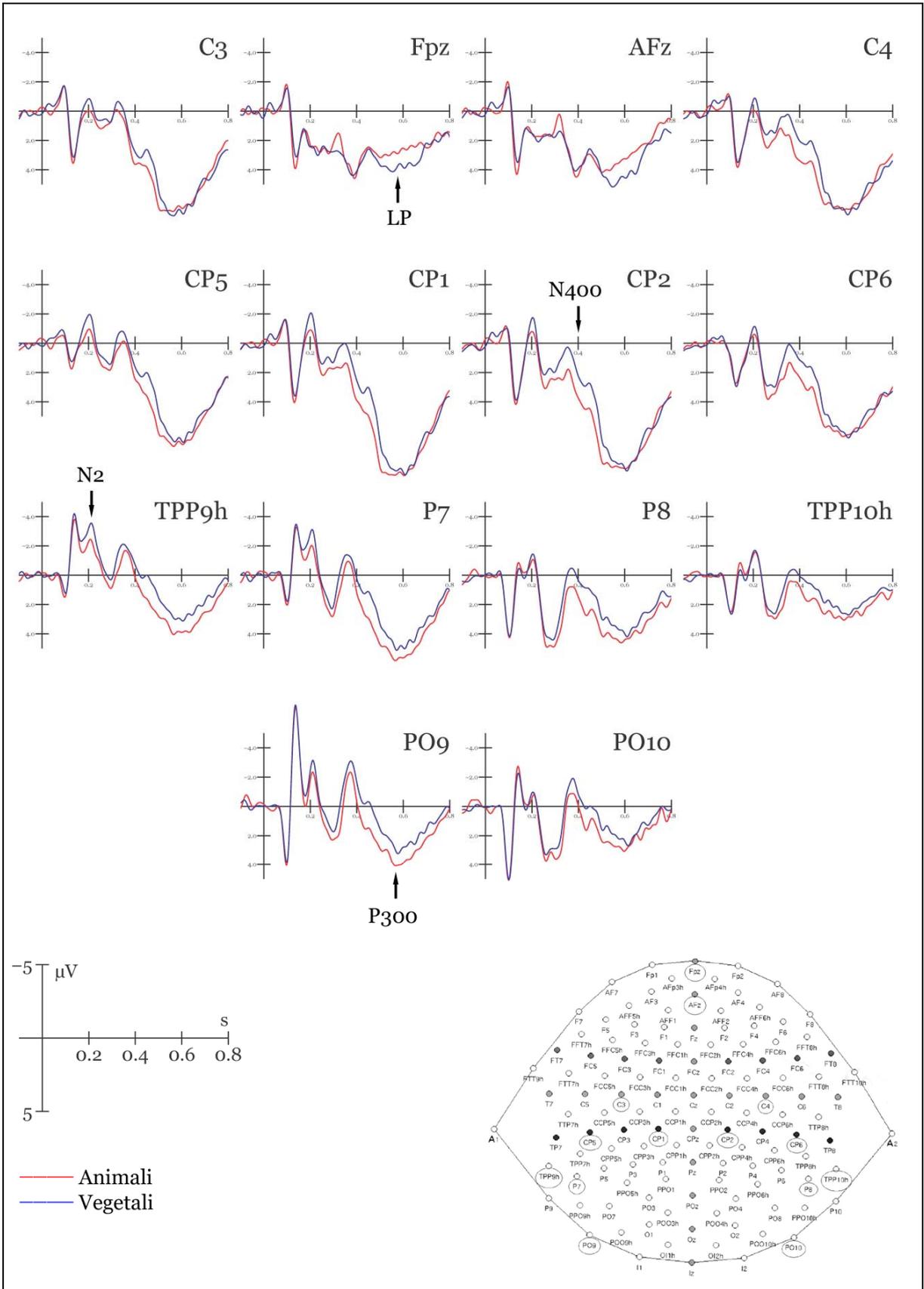
L'analisi dei tempi di reazione non ha rilevato alcun effetto significativo, tuttavia il confronto fra i valori medi ha consentito di osservare che i soggetti erano più veloci nel rispondere alle parole che denotavano nomi di animali piuttosto che alle parole che denotavano nomi di vegetali (A = 551 ms, DS = 48.32; V = 562 ms, DS = 53.70).

L'analisi dell'accuratezza ha messo in evidenza un effetto della categoria semantica ( $F_{1,11} = 6.42$ ;  $p < 0.05$ ). Il confronto fra le percentuali d'errore ha consentito di osservare che i soggetti commettevano più errori rispondendo ai nomi di vegetali piuttosto che ai nomi di animali (A = 4.89%; V = 8.85%).

Nel complesso il numero di omissioni era molto basso (A = 0.46%; V = 0.38%) e non differiva in modo statisticamente significativo fra le due categorie.

#### **4.3.2 Risultati elettrofisiologici**

La Figura 4.1 mostra le grandi medie ERP registrate in risposta ai nomi di animali e di vegetali; come per gli studi descritti nel capitolo precedente, rappresenta un riassunto dei risultati. L'analisi della componente P1, che raggiungeva la massima ampiezza sui siti occipitali intorno a 100 ms, nonché l'analisi della componente N1, che raggiungeva la massima ampiezza sui siti occipitali laterali intorno a 140 ms, non ha rivelato alcun effetto significativo delle categorie semantiche.



**Figura 4.1** Grandi medie ERP registrate in risposta ai nomi di animali (linea rossa) e ai nomi di vegetali (linea blu).

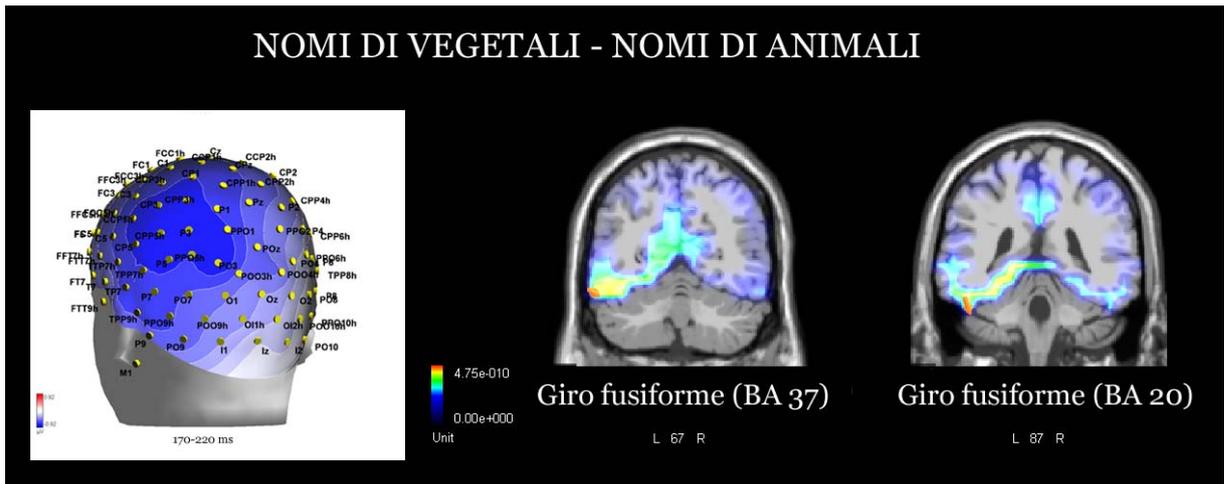
### **Componente N2 occipitale temporale (170-220 ms)**

Questa componente raggiungeva la massima ampiezza sui siti occipito-temporali laterali (P7, P8, TPP9h, TPP10h). La N2 risultava fortemente influenzata dalla categoria semantica, come suggerito dall'interazione "Categoria semantica x Emisfero" ( $F_{1,11} = 5.93$ ;  $p < 0.05$ ), che ha dimostrato come l'ampiezza fosse maggiore in risposta ai nomi di vegetali rispetto ai nomi di animali sull'emisfero sinistro ( $p < 0.005$ ) ma non sull'emisfero destro (ES:  $A = -1.69$ ;  $V = -2.63 \mu V$ ; ED:  $A = -0.78$ ;  $V = -1.02 \mu V$ ).

LORETA è stata applicata sull'onda di differenza ottenuta sottraendo le risposte ERP alle parole che denotavano animali da quelle che denotavano vegetali nella finestra temporale in cui sono stati osservati gli effetti sopradescritti (170-220 ms). Come indicato nella Tabella 4.1 e nella Figura 4.2, la soluzione mostra un grande focus di attivazione nel lobo temporale inferiore sinistro, in particolare nelle BA 37 e BA 20.

<b>Magnitudo (E-10)</b>	<b>T-x [mm]</b>	<b>T-y [mm]</b>	<b>T-z [mm]</b>	<b>Emisfero</b>	<b>Lobo</b>	<b>Giro</b>	<b>BA</b>
4,75	-28,5	-0,6	-28,2	S	Limbico	Uncus	36
4,43	-48,5	-33,7	-23,6	S	T	Giro fusiforme	20
4,38	-58,5	-55	-17,6	S	T	Giro fusiforme	37
4,37	50,8	34,3	14,2	D	F	Giro frontale medio	46
3,93	11,3	-9,4	-14	D	Limbico	Giro paraippocampale	34
3,88	21,2	9,1	-27,5	D	Limbico	Uncus	38
3,85	-8,5	57,3	-9	S	F	Giro frontale superiore	10
3,83	-28,5	53,4	24,8	S	F	Giro frontale superiore	10
3,62	-28,5	56,3	-1,6	S	F	Giro frontale superiore	10
3,51	1,5	-29,4	26	D	Limbico	Giro del cingolo	23
3,47	50,8	-0,6	-28,2	D	T	Giro temporale medio	21
3,28	50,8	-33,7	-23,6	D	T	Giro fusiforme	20
2,36	40,9	-30,4	34,9	D	P	Lobulo parietale inferiore	40
2,31	31	-51,7	42	D	P	Lobulo parietale superiore	7

**Tabella 4.1** Coordinate Talairach relative ai generatori intracorticali che spiegano la distribuzione di voltaggio registrata in corrispondenza dell'onda di differenza "vegetali - animali" nell'intervallo temporale compreso fra 170 e 220 ms. Power RMS = 17,8  $\mu V$ .



**Figura 4.2** A sinistra: distribuzione di voltaggio della componente N2 occipitale temporale in corrispondenza dell'onda di differenza “vegetali – animali”. A destra: localizzazione del generatore intracorticale in corrispondenza della stessa onda ERP (170-220 ms). Sono illustrati i dipoli corrispondenti all’attivazione del giro fusiforme dell’emisfero sinistro.

### ***Componente N400 centro-parietale (320-470 ms)***

La componente N400 raggiungeva la massima ampiezza sui siti centrali (C3, C4) e centro-parietali (CP5, CP6). L'effetto della categoria semantica ( $F_{1,11} = 7.37$ ;  $p < 0.05$ ) ha mostrato che, anche in questa seconda finestra temporale, i nomi di vegetali evocavano una risposta maggiore (più negativa) rispetto ai nomi di animali ( $A = 2.80$ ;  $V = 1.58 \mu V$ ).

### ***Componente P300 posteriore (470-620 ms)***

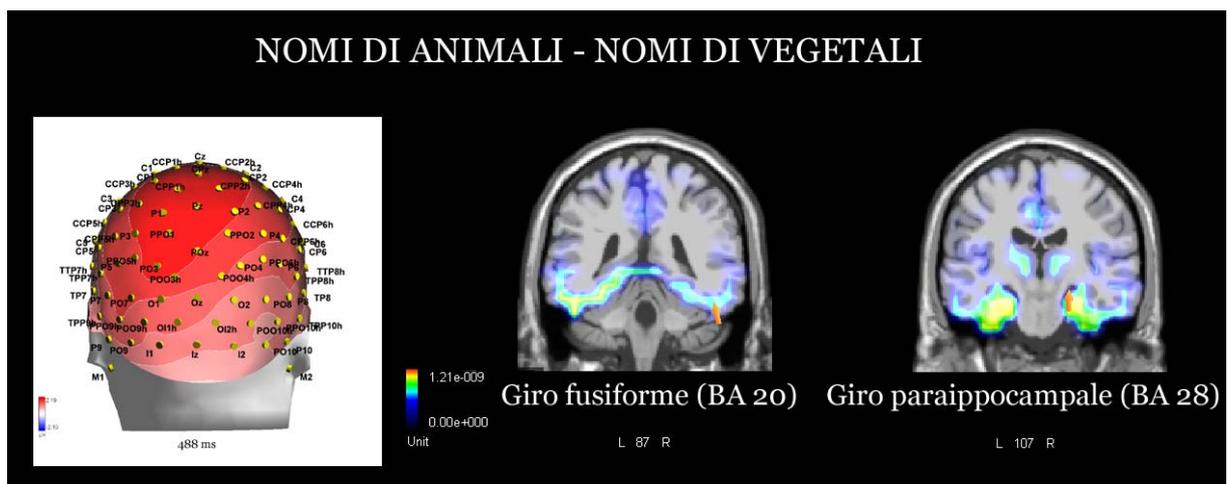
Questa componente era più ampia sui siti centro-parietali piuttosto che su quelli occipito-laterali ( $CP1-CP2 = 8.46$ ;  $PO9-PO10 = 2.55 \mu V$ ), come dimostrato dall'effetto dell'elettrodo ( $F_{1,11} = 49.90$ ;  $p < 0.001$ ). Inoltre era fortemente influenzata dalla categoria semantica ( $F_{1,11} = 11.38$ ;  $p < 0.01$ ); infatti i nomi di animali evocavano una risposta maggiore (più positiva) rispetto ai nomi di vegetali ( $A = 6.04$ ;  $V = 4.97 \mu V$ ).

L'interazione “Categoria semantica x Elettrodo x Emisfero” ( $F_{1,11} = 6.90$ ;  $p < 0.05$ ), ha confermato che la differenza fra l'elaborazione dei nomi di animali e dei nomi di vegetali risultava significativa su tutti gli elettrodi ( $p < 0.001$ ;  $PO9$ :  $A = 3.72$ ;  $V = 2.32 \mu V$ ;  $PO10$ :  $A = 2.57$ ;  $V = 1.61 \mu V$ ;  $CP1$ :  $A = 9.23$ ;  $V = 8.23 \mu V$ ;  $CP2$ :  $A = 8.65$ ;  $V = 7.72 \mu V$ ).

LORETA è stata applicata sull'onda di differenza ottenuta sottraendo le risposte ERP alle parole che denotavano vegetali da quelle evocate dalle parole che denotavano animali nella latenza del picco della componente (470-530 ms). Come riportato nella Tabella 4.2, la soluzione mostra una forte attivazione delle regioni occipito-temporali dell'emisfero destro (si veda la Figura 4.3), in particolare del giro occipitale inferiore (BA 18), del giro occipitale medio (BA 19), del giro fusiforme (BA 20), del giro paraippocampale (BA 28) e del giro temporale medio (BA 21), oltre ad un focus di attivazione del lobo temporale inferiore dell'emisfero sinistro (BA 20).

<b>Magnitudo (E-10)</b>	<b>T-x [mm]</b>	<b>T-y [mm]</b>	<b>T-z [mm]</b>	<b>Emisfero</b>	<b>Lobo</b>	<b>Giro</b>	<b>BA</b>
12.1	-19	-8	-29	S	Limbico	Uncus	36
11.7	-59	-45	-17	S	T	Giro temporale inferiore	20
11.1	21	-17	-15	D	Limbico	Giro paraippocampale	28
9.59	51	-34	-24	D	T	Giro fusiforme	20
9.35	51	-1	-28	D	T	Giro temporale medio	21
7.68	2	-20	27	D	Limbico	Giro del cingolo	23
6.58	-49	45	6	S	F	Giro frontale medio	46
6.37	-29	56	-2	S	F	Giro frontale superiore	10
6.17	41	33	23	D	F	Giro frontale medio	46
5.78	2	65	8	D	F	Giro frontale mediale	10
3.90	31	-98	-6	D	O	Giro occipitale inferiore	18
2.87	41	-30	35	D	P	Lobulo parietale inferiore	40

**Tabella 4.2** Coordinate Talairach relative ai generatori intracorticali che spiegano la distribuzione di voltaggio registrata in corrispondenza dell'onda di differenza "animali - vegetali" nell'intervallo temporale compreso fra 470 e 530 ms. Power RMS = 34,1  $\mu$ V.



**Figura 4.3** A sinistra: distribuzione di voltaggio della componente P300 in corrispondenza dell'onda di differenza "animali - vegetali". A destra: localizzazione del generatore intracorticale in corrispondenza della stessa onda ERP (470-530 ms). Sono illustrati i dipoli corrispondenti all'attivazione del giro fusiforme e del giro paraippocampale dell'emisfero destro.

### **Componente LP (Late Positivity, 530-680 ms)**

La componente LP anteriore aveva una distribuzione fronto-centrale (FPz, AFz). Contrariamente a quanto osservato per la P300 posteriore, sui siti prefrontali l'effetto della categoria semantica ( $F_{1,11} = 4.86$ ;  $p < 0.05$ ) ha mostrato che i nomi di vegetali evocavano una risposta maggiore (più positiva) rispetto ai nomi di animali ( $A = 3.33$ ;  $V = 4.47 \mu$ V).

#### **4.4 Discussione**

##### ***L'attivazione automatica delle proprietà semantiche dei concetti nei processi di lettura***

Il risultato più rilevante di questo studio è l'osservazione di un effetto ERP precoce (170-220 ms) della categoria semantica: la componente N2 occipito-temporale risultava caratterizzata da un'ampiezza maggiore in risposta alle parole che denotavano nomi di vegetali rispetto a quelle che denotavano nomi di animali nell'emisfero sinistro ma non in quello destro. La lateralizzazione sinistra dell'effetto suggerisce la natura linguistica del fenomeno. Diversamente dagli studi precedenti (Martín-Loeches e coll., 2001; Mari-Beffa e coll., 2005), è possibile ipotizzare che l'effetto trovato in questa finestra temporale non sia imputabile né al valore d'immagine delle parole né alla familiarità dei concetti, dal momento che questi due fattori sono stati bilanciati. Cosa renda diverse le due categorie semantiche, tanto da indurre un effetto più precoce rispetto agli effetti descritti nel contesto dei due studi precedenti, rimane da chiarire, considerando che il compito utilizzato non richiedeva né risultava facilitato dall'analisi di una caratteristica semantica particolare e come menzionato sopra, la familiarità, l'immaginabilità e la frequenza d'uso delle parole appartenenti alle due categorie semantiche sono state bilanciate. La distribuzione topografica degli ERP e la ricostruzione del generatore intracorticale tramite LORETA suggerisce un forte coinvolgimento delle aree visive extrastriate della via ventrale, in particolare della corteccia temporale inferiore dell'emisfero sinistro (BA 37 e BA 20). Nello studio descritto nel capitolo precedente, i risultati hanno confermato come la regione occipito-temporale sinistra sia sensibile alla familiarità visiva delle parole e hanno suggerito che l'attivazione delle BA 37 e BA 20 potrebbe essere legata all'accesso lessicale/semantico delle parole. Naturalmente non va dimenticato che essendo un metodo per localizzare l'attività elettrica cerebrale basato sulla registrazione dei potenziali di superficie, LORETA rimane un algoritmo caratterizzato da una risoluzione spaziale relativamente bassa. Per questa ragione i nostri risultati vanno considerati sulla base della loro convergenza con i dati di neuroimmagine. A questo proposito, è interessante notare che i nostri risultati vanno nella stessa direzione dei dati MEG di Assadollahi e Rockstroh (2005) menzionati nel paragrafo introduttivo di questo capitolo. Gli autori hanno trovato una diversa attivazione in risposta ai nomi di vegetali e ai nomi di animali già a partire da 100-150 ms nella corteccia occipito-temporale dell'emisfero sinistro, in una regione più anteriore rispetto a quella descritta nel contesto di un altro studio dello stesso autore (Assadollahi & Pulvermüller, 2003) per gli effetti di frequenza d'uso e lunghezza delle parole. Assadollahi e Rockstroh hanno interpretato quest'effetto in termini di elaborazione semantica piuttosto che ortografica. Alcuni autori hanno identificato un'area localizzata anteriormente alla VWFA, lungo il giro fusiforme, sensibile al contenuto semantico delle parole, tanto che è stato proposto il termine Area Fusiforme Semantica o

*Fusiform Semantic Area* (si veda il paragrafo 2.1). Tuttavia, ancora non è chiaro quale sia il ruolo di quest'area nei meccanismi di accesso lessicale e semantico, questa regione potrebbe ragionevolmente corrispondere al lessico ortografico di input del modello DRC.

I nomi di animali evocavano una componente P300 occipito-parietale più ampia rispetto ai nomi di vegetali. Questo potrebbe indicare un maggior numero di associazioni sensoriali dei nomi di animali nelle aree visive extra-striate. Quest'ipotesi è supportata dalla ricostruzione del generatore intracorticale tramite LORETA, che suggerisce un grande coinvolgimento delle regioni occipito-temporali dell'emisfero destro, in particolare del giro occipitale inferiore (BA 18), del giro occipitale medio (BA 19), del giro fusiforme (BA 20), del giro paraippocampale (BA 28) e del giro temporale medio (BA 21), oltre che un grande focus d'attivazione del lobo temporale inferiore sinistro (BA 20). I nostri risultati sono in accordo con gli studi di neuroimmagine che mostrano un'attivazione della corteccia occipitale e temporale ventrale durante l'elaborazione dei nomi di entità viventi rispetto ad altri concetti. Il coinvolgimento delle aree visive è stato spesso interpretato come associato alla ricchezza sensoriale delle caratteristiche visive delle entità viventi (Cappa e coll., 1998; Wheatley e coll., 2005). Per esempio, in un recente studio fMRI, Marques e collaboratori (2008) hanno trovato una forte attivazione del giro fusiforme, del giro temporale inferiore e di un'estesa regione occipito-parietale in corrispondenza del recupero delle caratteristiche superficiali e della forma visiva di diversi concetti. Queste regioni erano localizzate in entrambi gli emisferi, con una prevalenza dell'emisfero destro. Dato che i nomi di animali e di vegetali erano bilanciati in termini di valore di immagine, la maggior attivazione delle aree visive extrastriate non sembra poter essere attribuita semplicemente ad un diverso grado di immaginabilità delle due categorie semantiche. È rilevante notare che l'attivazione della corteccia occipito-temporale destra è stata spesso associata all'elaborazione dei volti e del corpo (la cosiddetta Area Fusiforme delle Facce o *Face Fusiform Area* e l'Area Extrastriata del Corpo o *Extra-striate Body Area*, Sergent e coll., 1992; Kanwisher e coll., 1997).

Nel complesso, l'analisi delle componenti tardive e i risultati comportamentali suggeriscono che i nomi di vegetali richiedevano in qualche modo un maggior carico di risorse cognitive rispetto ai nomi di animali. I partecipanti erano meno accurati nelle risposte ai nomi di vegetali rispetto ai nomi di animali e i tempi di risposta medi erano più veloci in risposta ai nomi di animali, anche se l'analisi dei TR non ha mostrato alcun effetto significativo. In modo analogo, Kiefer (2005), usando un compito di decisione lessicale con parole che denotavano entità naturali (animali, piante, frutta e verdura) o oggetti artificiali (strumenti, mobili, mezzi di trasporto e strumenti musicali) ha trovato un effetto della categoria semantica debolmente significativo, che mostrava come i tempi di reazione alle categorie naturali fossero leggermente inferiori rispetto a quelli registrati in risposta ai nomi di manufatti. L'analisi della componente N400 ha messo in evidenza un'ampiezza maggiore in risposta ai nomi di vegetali rispetto ai nomi di animali. Come evidenziato nel capitolo

precedente, la componente N400 potrebbe rappresentare un indice della difficoltà con cui le informazioni in entrata sono integrate con le informazioni semantiche immagazzinate in precedenza. Alcuni autori hanno suggerito che la N400 potrebbe riflettere una sorta di ricerca nella memoria semantica. Infatti, la sua ampiezza varia in funzione di fattori che influenzano anche la memoria a lungo termine, come il numero di item da ricordare (Stuss e coll., 1986) e il ritardo fra presentazioni successive di uno stesso item (Chao e coll., 1995). La componente LP anteriore, come la N400, ha mostrato una maggiore positività in risposta alle parole che denotavano nomi di vegetali rispetto ai nomi di animali. In letteratura l'attività della corteccia prefrontale ventro-laterale è stata fortemente associata a processi di controllo di tipo top-down della memoria semantica, in particolare alla selezione delle informazioni concettuali immagazzinate nella corteccia temporale posteriore (e presumibilmente in altre corteccie) durante i processi di recupero (Thompson-Schill, 2003; Gold e coll., 2005). Sebbene il ruolo specifico della corteccia prefrontale ventro-laterale rimanga oggetto di dibattito, c'è un certo accordo attorno all'idea che la sua funzione principale sia quella di controllare e modulare l'accesso alle informazioni immagazzinate altrove (Martin, 2007). Di nuovo, questa componente sembra suggerire che l'elaborazione dei nomi di vegetali richiedesse un maggior carico di risorse cognitive.

Alla luce dei risultati delle componenti ERP sembra ragionevole supporre che le proprietà semantiche dei nomi di animali rendessero tale categoria più "facile" da identificare. A questo proposito è rilevante sottolineare che in termini generali gli animali sono caratterizzati da proprietà visive comuni (tutti gli animali hanno occhi, una testa ecc.), oltre che da proprietà semantiche comuni (si tratta di entità viventi che si muovono, mangiano, respirano ecc.). L'attivazione delle caratteristiche intercorrelate e condivise potrebbe aver facilitato i processi di riconoscimento automatico. In altri termini, le proprietà omomorfe degli animali (la presenza di occhi, di una testa, ecc.) e la loro valenza biologica potrebbero renderli unici rispetto ai nomi di vegetali. Quest'interpretazione è in accordo con l'ipotesi della struttura concettuale citata nel paragrafo 2.2 (Tyler & Moss, 2001), secondo cui le informazioni relative alle funzioni biologiche sarebbero correlate alle proprietà percettive condivise delle entità viventi (la presenza di occhi, di una testa, di gambe ecc.), mentre le informazioni relative alle proprietà funzionali sarebbero altamente correlate alle caratteristiche percettive distintive delle entità non viventi (per esempio, è usato per infilzare). È interessante notare che alcuni ricercatori hanno tentato di identificare le variabili che potrebbero essere rilevanti per l'organizzazione della memoria semantica ricorrendo ad un approccio diverso. Ad esempio, in uno studio del 2002 McRae e Cree hanno fornito ai loro soggetti una sequenza di nomi e hanno somministrato un compito di normalizzazione o *norming task*, che consisteva nell'elencare le caratteristiche dei concetti a cui i nomi si riferivano. I risultati sembravano portare alla conclusione che le correlazioni fra le caratteristiche percettive e semantiche siano più numerose e forti all'interno della categoria delle entità viventi, in particolare all'interno

della categoria degli animali. Alla luce di ciò, sembra plausibile ipotizzare che le proprietà percettive e semantiche condivise degli animali possano in parte contribuire all'emergere di una differenziazione fra le categorie lessico-semantiche animali e vegetali.

### ***Un possibile ruolo dell'età di acquisizione?***

La precocità dell'effetto della categoria semantica, se confrontata con la latenza degli effetti descritti nei due studi precedenti, rappresenta un aspetto problematico dei nostri risultati, sebbene sia stato dimostrato come diversi processi di elaborazione possano avvenire in parallelo piuttosto che in modo sequenziale. Considerando che i nomi di animali e di vegetali appartenevano a due categorie semantiche molto vicine, molto familiari, con alto valore d'immagine e rilevanti dal punto di vista biologico (nomi di cibi, nomi di predatori ecc.), è possibile supporre che l'analisi delle stesse abbia "prevalso" sull'analisi delle altre categorie-stimolo, facendo emergere una sorta di ritardo nell'elaborazione delle categorie lessicali. Un fenomeno simile è stato riscontrato in uno studio ERP di Mondini e collaboratori (2008) in cui i soggetti erano istruiti a svolgere un compito di decisione lessicale su nomi contabili, nomi massa e pseudoparole ottenute cambiando una sillaba degli stessi nomi. Gli autori hanno trovato un effetto della categoria semantica (nomi contabili vs. nomi massa) nella latenza della componente N150 (150-170 ms), registrata sulle regioni occipito-temporali dell'emisfero sinistro, ma non un effetto lessicale (parole vs. pseudoparole). Sfortunatamente gli autori non hanno discusso quest'aspetto dei loro risultati, fermandosi alla discussione dei risultati relativi al confronto fra i nomi contabili e i nomi massa.

A nostro modo di vedere l'età di acquisizione delle parole potrebbe aver influenzato i processi di elaborazione lessico-semantiche dei nomi di animali e dei nomi di vegetali. Al momento, non è stato possibile bilanciare l'età di acquisizione delle parole poiché non esistono dati normativi italiani che includano un numero sufficiente di stimoli. Tuttavia, uno spunto interessante emerge dai dati normativi presentati da Caselli e collaboratori (2007) riguardo alla versione italiana del *MacArthur-Bates Communicative Development Inventory-CDI*. Questo questionario, somministrato ai genitori di bambini di età compresa fra 18 e 36 mesi, è usato per indagare e valutare le abilità di linguaggio e comunicazione nel corso dello sviluppo normale e atipico dei primi anni di vita. Ai genitori dei bambini viene chiesto di porre un segno accanto alle parole che il loro bambino produce spontaneamente; il numero totale delle parole segnalate dai genitori fornisce una stima dell'estensione del vocabolario produttivo del bambino. I dati normativi si riferiscono alla percentuale di bambini (in un campione di 752) che, secondo quanto riportato dai loro genitori, padroneggia una certa parola. Le parole sono suddivise in diverse sottocategorie, ad esempio animali, cibo, veicoli ecc. Il questionario prevede una sezione specifica per i nomi di animali, mentre i nomi di vegetali sono dispersi nella sezione dedicata a "cibi e bevande" e "all'aperto". In aggiunta a ciò, 17 dei nomi di animali usati nel nostro studio compaiono nel database, a fronte di 8 nomi di vegetali.

Alcuni ricercatori hanno proposto modelli che suggeriscono come le parole apprese in età precoce e tardiva siano rappresentate in aree diverse del cervello (Brown & Watson, 1987). Tuttavia, ancora non è chiaro se l'età di acquisizione piuttosto che altre variabili, come la frequenza d'uso, siano predittori migliori dell'andamento dei processi di riconoscimento delle parole (Zevin & Seidenberg, 2002) e pochi studi hanno indagato le basi neurali dell'età di acquisizione. Per esempio, Fiebach e collaboratori (2003) hanno condotto uno studio fMRI che indagava il ruolo dell'età di acquisizione e della frequenza d'uso di parole presentate in modalità visiva e uditiva, riscontrando che l'età di acquisizione modulava l'attività di regioni cerebrali non influenzate dalla frequenza d'uso delle parole. Il precuneo era attivo in risposta alle parole acquisite in età precoce sia per la modalità visiva sia per la modalità uditiva. Le parole acquisite tardivamente erano associate ad un incremento dell'attivazione delle aree frontali inferiori laterali. Gli autori hanno ipotizzato che le parole acquisite in età precoce siano caratterizzate da rappresentazioni più sensoriali rispetto a quelle acquisite più tardivamente. In uno studio ERP del 2005, usando un compito di decisione lessicale uditivo Tainturier e collaboratori hanno trovato una P300 più ampia in risposta a parole acquisite in età precoce rispetto a quelle acquisite in età tardiva. A questo proposito è interessante sottolineare che l'andamento descritto da questi autori esibisce un effetto paragonabile a quello riscontrato per la nostra P300; sembra pertanto plausibile che l'età di acquisizione possa aver giocato un ruolo significativo nel nostro esperimento.

L'importanza dell'età di acquisizione nell'elaborazione delle parole è stata suggerita anche nel contesto della letteratura sul multilinguismo. Per esempio, in un recente studio che indagava il decorso temporale dell'attivazione cerebrale durante l'elaborazione della lingua nativa e di lingue acquisite in età tardiva negli interpreti simultanei, Proverbio e collaboratori (2009) hanno riportato l'esistenza di effetti lessicali precoci (discriminazione parola/non-parola) sui siti occipito-temporali intorno a 160-180 ms solo nella lingua nativa e non nella seconda lingua, nonostante gli interpreti fossero ugualmente fluenti in entrambe le lingue e il compito (rilevazione di lettera) non richiedesse un'elaborazione lessicale/semantica.

Tornando al confronto fra l'elaborazione dei nomi di animali e di vegetali, è possibile che l'acquisizione dei concetti e la classificazione dei membri appartenenti alle due categorie avvenga in modi diversi e abbia diverse caratteristiche cognitive e affettive, considerando che gli animali sembrano essere concettualizzati sin dalla più tenera età come un gruppo di entità accomunate dalla valenza biologica, mentre i vegetali potrebbero essere concettualizzati più tardivamente, in termini cognitivi, come rappresentati da tutte le entità appartenenti ad un regno definito scientificamente. In questo senso, le considerazioni fatte a proposito dell'età di acquisizione dei concetti si riconciliano con quanto riportato a proposito delle proprietà omomorfiche dei nomi di animali. Piuttosto dell'età di acquisizione delle parole per sé, che probabilmente non differisce molto fra i nomi di animali e di vegetali, considerando che le due categorie erano bilanciate in termini di frequenza d'uso, familiarità e valore d'immagine

dei concetti, le nostre considerazioni a proposito dell'età di acquisizione dovrebbero essere valutate in riferimento ad una conoscenza più generale dei due domini. È possibile che nella nostra cultura le conoscenze relative ai membri appartenenti alle due categorie siano acquisite in diversi periodi e contesti, e ciò potrebbe essere in parte dovuto alla valenza biologica/affettiva dei diversi concetti. Nel nostro caso, il fatto che i nomi di animali e i concetti sottostanti possano essere acquisiti in un contesto più naturale e più precocemente rispetto ai nomi di vegetali potrebbe essersi concretizzato in una maggiore prontezza di elaborazione dei nomi di animali. È possibile che un'acquisizione più tardiva o meno coerente dei concetti che si riferiscono al regno vegetale sia risultato in una maggiore ampiezza della N2, della N400 e della LP. Naturalmente, dato che questo studio non è stato progettato per testare il ruolo dell'età di acquisizione, la discussione di questo aspetto rimane fortemente speculativa. Tuttavia, riteniamo che si tratti di un fattore molto importante che merita maggiore attenzione da parte degli studi futuri sui processi di elaborazione semantica delle parole.

In sintesi, in questo studio è stato riscontrato un effetto della categoria semantica a latenze precoci nelle regioni cerebrali solitamente coinvolte nei processi di categorizzazione semantica (Caramazza & Mahon, 2003). Quest'effetto non era strettamente legato al valore d'immagine o alla familiarità delle parole; inoltre è stato riscontrato anche se il compito non richiedeva un'elaborazione semantica esplicita. I nostri risultati suggeriscono che l'elaborazione semantica possa avvenire a stadi di elaborazione sorprendentemente precoci e quasi simultaneamente ai processi di elaborazione delle informazioni relative alla forma di una parola e alle sue proprietà lessicali. La discriminazione fra le due categorie semantiche potrebbe essere guidata sia dalle caratteristiche specifiche dei concetti, come l'omomorfia e la valenza biologica, sia da fattori più generali come l'età di acquisizione delle parole.

## **5 Esperimento 3: la concretezza delle parole**

### **5.1 Introduzione**

Sebbene sia stato appurato 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. Nel 1994, Kounios e Holcomb hanno esaminato l'effetto di concretezza sugli ERP usando un compito di decisione lessicale e un compito di giudizio di concretezza nel contesto di un paradigma di priming. Le parole concrete evocavano una risposta più negativa rispetto alle parole astratte in una finestra temporale compresa fra 300 e 500 ms dalla comparsa dello stimolo, ovvero nella latenza della componente N400. Tale effetto era maggiore nel compito di giudizio di concretezza (che richiedeva un'elaborazione semantica profonda) rispetto al compito di decisione lessicale ed era maggiore sui siti di registrazione anteriori dell'emisfero destro. In uno studio successivo, lo stesso gruppo di ricerca (Holcomb e coll., 1999) ha dimostrato l'esistenza di un'interazione fra il contesto e la concretezza, che ha indotto gli autori a ipotizzare che entrambi i fattori, la disponibilità del contesto e i processi immaginativi innescati dalle parole concrete, possano facilitare l'elaborazione delle parole. In questo caso ai partecipanti venivano presentate delle frasi in cui la parola finale variava per il grado in cui era supportata dal contesto linguistico precedente, oltre che per il grado di concretezza. Il compito consisteva nel premere un tasto nel caso in cui la frase fosse semanticamente congruente e un tasto diverso nel caso in cui la frase fosse semanticamente anomala. Come nei classici paradigmi sulla N400 (Kutas & Hillyard, 1984), le parole finali incongruenti con il contesto della frase producevano una N400 che aveva un'ampiezza massima in una finestra temporale compresa fra 300 e 500 ms sui siti centro-parietali. Inoltre, solo nel contesto delle frasi incongruenti, le parole concrete evocavano risposte più negative rispetto alle parole astratte. La differenza fra le parole astratte e concrete era massima sui siti anteriori laterali, quest'interazione aveva cioè una distribuzione topografica diversa rispetto all'effetto principale della congruenza con il contesto.

Sulla base di questi risultati, Holcomb e collaboratori (1999) hanno proposto un'estensione del modello del doppio codice, che tiene conto sia degli effetti del contesto sia degli effetti di concretezza. Tale modello afferma infatti che l'elaborazione semantica delle parole sia influenzata sia da fattori contestuali all'interno del sistema semantico verbale sia dalle connessioni referenziali ad un sistema immaginativo. In certe condizioni (come nel contesto dell'elaborazione di frasi congruenti descritta dagli autori), i fattori contestuali possono mascherare il beneficio derivante dalle connessioni al sistema immaginativo di cui godono le parole concrete. Questo potrebbe accadere perché i processi di elaborazione delle informazioni contestuali linguistiche potrebbero essere più precoci o più veloci rispetto ai

processi di elaborazione delle informazioni visive/immaginative. Gli autori hanno sottolineato che la differenza fra le risposte ERP alle parole concrete e alle parole astratte depone a favore dell'ipotesi che esistano sistemi semantici multipli.

Sulla stessa linea di ricerca, in uno studio del 2000 West e Holcomb hanno esaminato in modo più approfondito questi processi cercando di stabilire se potessero essere influenzati in modo diverso dai cambiamenti nelle richieste del compito. Usando l'approccio dei livelli di elaborazione (Craik & Lockhart, 1972), questi autori si erano prefissi di determinare a quale punto del flusso d'elaborazione cognitiva potessero emergere effetti di concretezza negli ERP e in che modo diversi tipi di operazioni cognitive potessero influenzare gli effetti di concretezza. I partecipanti erano assegnati ad una di tre condizioni sperimentali ed erano chiamati a risolvere un compito di giudizio di verità di frasi che richiedeva un processo di decisione semantica (ad esempio "è abbastanza comune per le persone possedere un elefante" o "è abbastanza comune per le persone possedere un'abilità"), la generazione di immagini mentali (ad esempio "è facile formarsi un'immagine mentale di un elefante" o "è facile formarsi un'immagine mentale di un'abilità"), oppure la valutazione di caratteristiche superficiali (ad esempio "c'è la lettera N nella parola elefante" o "c'è la lettera N nella parola abilità"). Gli stimoli target (40 parole astratte e 40 parole concrete) erano gli stessi nelle tre condizioni. Le parole astratte e quelle concrete producevano TR e risposte ERP simili nel compito ortografico, suggerendo che fosse necessaria un'elaborazione semantica post-lessicale per evocare gli effetti di concretezza. Sia nel compito di decisione semantica sia in quello che richiedeva la generazione di immagini mentali, i tempi di risposta alle parole concrete erano più veloci rispetto ai TR alle parole astratte; questa differenza era maggiore nel compito che richiedeva la generazione di immagini mentali. In entrambi i compiti le parole concrete evocavano una N400 (300-550 ms) maggiore rispetto alle parole astratte. Considerando che quest'effetto era diffuso su tutto lo scalpo e particolarmente evidente nel contesto del compito semantico, è possibile ipotizzare che riflettesse un'attivazione del sistema semantico linguistico comune alle due categorie di stimoli. I potenziali evocati erano più negativi in risposta alle parole concrete rispetto alle parole astratte anche nella finestra temporale successiva, compresa fra 550 e 800 ms, soprattutto sui siti anteriori e nel compito che richiedeva la generazione di immagini mentali. Gli autori hanno ipotizzato che quest'ultimo effetto rappresentasse una componente ERP distinta (N700) sensibile all'uso delle immagini mentali e hanno concluso che i loro risultati deponevano a favore dell'estensione del modello del doppio codice secondo cui la generazione di immagini mentali può contribuire ai vantaggi nell'elaborazione delle parole concrete. Considerati nel loro complesso i risultati suggerivano un coinvolgimento di almeno due distinti processi cognitivi, attivati in modo diverso dai due compiti. Secondo gli autori, la N700 potrebbe riflettere l'accesso a specifiche caratteristiche dell'item immaginato o un'attivazione della memoria di lavoro specifica per le immagini mentali. A questo proposito, gli autori hanno richiamato un

modello elaborato da Kosslyn (1994), fondato sulla convinzione che gli stessi meccanismi di elaborazione sottendano sia la percezione visiva di alto livello sia la generazione di immagini mentali (o *mental imagery*). Il modello è costituito da diverse componenti, fra cui ricordiamo il buffer visivo, definito da un insieme di aree topograficamente organizzate nel lobo occipitale che ricevono connessioni sia dalle aree visive di basso livello sia da quelle di alto livello; la finestra attentiva, che opera una selezione delle informazioni rilevanti all'interno del buffer visivo; la codifica delle proprietà dell'oggetto, responsabile del confronto fra il percepito visivo e le rappresentazioni delle proprietà degli oggetti (ad esempio forma e colore) presenti in memoria. Questa componente è rintracciabile nel percorso ventrale che congiunge il lobo occipitale al lobo temporale inferiore. Un'ulteriore componente del modello è rappresentata dalla codifica delle proprietà spaziali dell'oggetto, come la localizzazione e l'orientamento. In questo caso il percorso corticale sottostante è costituito dalle proiezioni dorsali che congiungono i lobi occipitale e parietale.

È rilevante notare che gli effetti del contesto indagati da West e Holcomb fanno riferimento alle frasi, mentre il modello della disponibilità del contesto fa riferimento alle informazioni contestuali attivate dall'elaborazione di parole isolate. Inoltre, gli autori hanno osservato una dissociazione topografica fra l'effetto della N400 legato alla congruenza delle parole con il contesto precedente e quello legato alla concretezza degli stimoli, ma a nostro modo di vedere, senza una più chiara differenza nella distribuzione topografica dei potenziali evocati da parole astratte e parole concrete è difficile trarre conclusioni definitive a favore del modello del doppio codice.

Un altro gruppo di ricerca (Martín-Loeches e coll., 2001) si è concentrato sui possibili effetti di concretezza rintracciabili sulle regioni occipito-temporali. Questi autori hanno sottolineato che una delle ragioni per cui gli studi di neuroimmagine relativi agli effetti di concretezza sono lungi dall'essere conclusivi potrebbe essere che solitamente non viene controllato il valore d'immagine delle parole, poiché si dà per scontato che questa variabile sia equivalente al grado di concretezza. In realtà, la concretezza (la misura in cui una certa parola si riferisce ad un'entità esperibile con i sensi) e "l'immaginabilità" (la facilità con cui una certa parola evoca un'immagine mentale) sebbene siano fortemente correlate, costituiscono fattori diversi. In questo studio, gli autori hanno confrontato il RP (Potenziale di Riconoscimento, di cui abbiamo parlato nei paragrafi 3.1 e 4.1) in risposta a parole concrete e a parole astratte durante un compito di decisione lessicale, controllando che le parole appartenenti alle due categorie differissero per valore d'immagine. I tempi di risposta alle parole concrete erano più veloci rispetto ai TR alle parole astratte. I risultati ERP hanno suggerito che le regioni deputate all'elaborazione semantica in cui sembra essere originato il RP (la cui ampiezza è stata misurata in una finestra temporale compresa fra 240 e 296 ms) erano fortemente attive in risposta alle parole concrete, sebbene anche le parole astratte evocassero un RP più ampio rispetto alle pseudoparole o alle stringhe di lettere non pronunciabili. Secondo gli autori

questo risultato, che si concretizzava in un gradiente di attivazione in risposta a parole concrete, parole astratte e pseudoparole, era difficile da integrare con il modello del doppio codice, sembrava cioè suggerire che non esista una chiara segregazione funzionale dei sistemi semantici. Piuttosto, i risultati supportavano l'ipotesi che esista un sistema semantico non-verbale, specializzato per il materiale concreto (ad alto valore d'immagine), che risulta comunque attivato, anche se in minor misura, dal materiale astratto. Questo studio è molto interessante perché riporta un effetto di concretezza in latenze e regioni cerebrali diverse da quelle comunemente coinvolte nei processi che producono la N400, che a nostro modo di vedere non sono in grado di dare risposte chiare e definitive sulla natura dell'effetto di concretezza. È altrettanto pregevole che gli autori tengano conto della letteratura di neuroimmagine sulle funzioni della corteccia occipito-temporale e che operino nel tentativo di integrare le conoscenze derivanti dagli studi di neuroimmagine con l'approccio tipico degli studi elettrofisiologici. Tuttavia, l'interpretazione dei risultati non sembra poter essere definitiva, nel senso che sembra difficile chiarire se l'effetto osservato sia realmente di natura semantica o piuttosto sia in parte imputabile a fattori lessicali.

L'effetto di concretezza è stato replicato anche con stimolazione uditiva e con caratteri ideografici. Ad esempio, nel 2002 Swaab e collaboratori hanno realizzato uno studio in cui le parole target, che potevano essere caratterizzate da alto o basso valore d'immagine, erano precedute da parole che fornivano un contesto semanticamente associato oppure no. Gli autori hanno scelto di controllare il valore d'immagine piuttosto che la concretezza degli stimoli perché il valore d'immagine rappresenterebbe un test più diretto per la teoria del doppio codice di Paivio. Il contesto è stato manipolato variando la relazione fra il prime e il target di ogni coppia di parole. I partecipanti erano istruiti a giudicare se le parole di ciascuna coppia, presentate in modalità acustica, erano semanticamente associate oppure no (compito di giudizio semantico). Gli autori hanno trovato una negatività maggiore in risposta alle parole con alto valore d'immagine rispetto alle parole con basso valore d'immagine in una finestra temporale compresa fra 350 e 650 ms; tale effetto era massimo sui siti frontali ed era indipendente dal contesto. La sua distribuzione topografica era diversa da quella dell'effetto dell'associazione semantica, che caratterizzava l'andamento della N400 posteriore. Gli autori hanno interpretato questi risultati in accordo con l'idea che esistano codici semantici diversi per la rappresentazione delle parole, uno di tipo verbale e uno di tipo visivo. Nel 2006, Zhang e collaboratori hanno condotto uno studio finalizzato ad indagare il modo in cui la frequenza di occorrenza delle parole potesse influenzare l'effetto di concretezza in un compito di decisione lessicale. I risultati ERP hanno dimostrato che le risposte evocate dalle parole concrete e dalle parole astratte divergevano a partire da 200-300 ms. Quest'effetto continuava nella finestra temporale successiva (300-500 ms), e si concretizzava in una N400 più ampia in risposta alle parole concrete, soprattutto sui siti anteriori dell'emisfero sinistro.

Gli autori hanno interpretato i loro risultati in accordo con l'estensione della teoria del doppio codice proposta da Holcomb e collaboratori (1999).

In questo terzo esperimento ci siamo occupati di testare l'ipotesi che le conoscenze concettuali relative alle entità concrete siano almeno in parte immagazzinate in termini di conoscenza percettiva basata sui sensi oltre che in termini di conoscenze strettamente linguistiche, in accordo con le previsioni della teoria del doppio codice (si veda il paragrafo 2.3), valutando gli effetti del grado di concretezza delle parole sul decorso temporale e sulla distribuzione topografica dell'attivazione cerebrale. Da un punto di vista neurobiologico, è possibile ipotizzare che i nomi astratti giacciono in un sistema semantico verbale localizzato nell'emisfero dominante per il linguaggio, mentre i nomi concreti abbiano un accesso aggiuntivo a codici sensoriali localizzati in entrambi gli emisferi. Tuttavia, a nostro modo di vedere senza una chiara differenza nella distribuzione topografica dei potenziali evocati da parole astratte e parole concrete è difficile trarre conclusioni definitive a favore del modello del doppio codice. In linea con lo studio di Martín-Loeches e collaboratori del 2001, ci siamo proposti di concentrarci sui possibili effetti di concretezza rintracciabili sulle regioni posteriori. Alla luce della letteratura sulla VWFA e sulle proprietà di risposta della corteccia infero-temporale, volevamo indagare la possibilità di distinguere l'effetto lessicale (discriminazione fra parole e pseudoparole) da quello legato alle proprietà semantiche degli stimoli (discriminazione fra parole astratte e parole concrete), nell'ottica di chiarire la natura degli effetti riscontrati in letteratura sul RP. Inoltre volevamo verificare se la "sede" dell'effetto di concretezza, fortemente associato al valore d'immagine delle parole, potesse essere diversa da quella responsabile dell'accesso alle proprietà che consentono di discriminare i nomi di diverse categorie semantiche, partendo dal confronto con i risultati ottenuti nell'esperimento precedente.

## **5.2 Metodo**

### **5.2.1 Partecipanti**

Hanno preso parte all'esperimento 15 studenti universitari italiani (8 maschi e 7 femmine). Tutti i partecipanti erano destrimani, d'età compresa fra 19 e 28 anni (M: 25; DS: 2.3), con vista normale o corretta con uso di occhiali, in buona salute e senza disturbi neurologici precedenti. La dominanza destra è stata accertata mediante la somministrazione della versione italiana (Salmaso & Longoni, 1985) del questionario *Edinburgh Inventory Questionnaire* (Oldfield, 1971) e di due prove pratiche sulla dominanza oculare. Prima di partecipare allo studio, tutti gli studenti hanno fornito il loro consenso informato scritto; inoltre tutti hanno acquisito dei crediti per la loro collaborazione. L'esperimento è stato condotto in accordo con gli standard etici (Helsinki, 1964).

### 5.2.2 Stimoli e Procedura

Gli stimoli consistevano di 300 parole (150 astratte, 150 concrete) e 300 pseudoparole, cioè stringhe di lettere che rispettavano le regole di conversione grafema-fonema specifiche della lingua, ma che non richiamavano una parola esistente. Tutti gli stimoli sono stati bilanciati per lunghezza, che variava da 6 a 10 caratteri (parole astratte = 7.63; DS = 1.09; parole concrete = 7.56; DS = 1.11; pseudoparole = 7.61; DS = 1.09); le parole astratte e le parole concrete sono state bilanciate per frequenza d'uso (parole astratte = 51.88; DS = 43.45; parole concrete = 45.11; DS = 46.83) e familiarità (parole astratte = 4.57; DS = 0.16; parole concrete = 4.61; DS = 0.17). Il bilanciamento degli stimoli è stato verificato tramite un t-test, che non è risultato significativo ad un livello di  $p = 0.1$ . Inoltre è stato verificato che le parole astratte e le parole concrete differissero per concretezza [ $t(298) = -64.34$ ;  $p < 0.00$ ; parole astratte = 2.33; DS = 0.42; parole concrete = 4.84; DS = 0.23] e per valore d'immagine [ $t(298) = -40.03$ ;  $p < 0.00$ ; parole astratte = 2.72; DS = 0.48; parole concrete = 4.67; DS = 0.35]. La frequenza d'uso delle parole è stata calcolata utilizzando il Corpus e Lessico di Frequenza dell'Italiano Scritto (CoLFIS, Bertinetto e coll., 2006). I valori riportati per la familiarità, la concretezza e il valore d'immagine delle parole sono stati ottenuti mediante la creazione di tre questionari, somministrati a tre gruppi indipendenti di 30 giudici. Ogni parola è stata valutata nel contesto di ciascun questionario mediante una scala a 5 punti. Per il questionario sulla familiarità, il primo gruppo di volontari era istruito a valutare quanto fosse usuale o inusuale nel proprio campo d'esperienza ciascuna delle parole presentate (1 = del tutto sconosciuta, 2 = quasi sconosciuta, 3 = né familiare né sconosciuta, 4 = abbastanza familiare, 5 = molto familiare); per il questionario sulla concretezza, il secondo gruppo di volontari era istruito a valutare ciascuna parola per il suo grado di concretezza o di astrattezza, partendo dal presupposto che le parole che si riferiscono agli oggetti, agli esseri viventi, alle azioni e ai materiali che possono essere esperiti con i sensi, sono generalmente considerate concrete, mentre le parole che si riferiscono a concetti che non possono essere esperiti con i sensi, sono generalmente considerate astratte (1 = estremamente astratta, 2 = abbastanza astratta, 3 = né astratta né concreta, 4 = abbastanza concreta, 5 = estremamente concreta); infine, per il questionario sul valore d'immagine l'ultimo gruppo di volontari era istruito a valutare la velocità e la semplicità con cui una certa parola evocava un'immagine mentale (1 = molto difficile da immaginare, 2 = abbastanza difficile da immaginare, 3 = né facile né difficile da immaginare, 4 = abbastanza facile da immaginare, 5 = molto facile da immaginare). Come nel caso del set di stimoli dell'esperimento precedente, 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).

Volendo isolare la dimensione astrattezza/concretezza delle parole, piuttosto che il contenuto semantico degli item, oltre al controllo delle variabili sopraelencate, la selezione degli stimoli

è stata guidata dallo sforzo di evitare un bias legato alla presentazione di parole appartenenti a categorie semantiche che, secondo i dati presenti in letteratura, potrebbero subire un'elaborazione specifica e particolare. Per questa ragione, sono state escluse le seguenti categorie-stimolo: strumenti musicali, parti del corpo, relazioni di parentela, sentimenti e stati d'animo, mestieri, nomi collettivi e parole che potessero avere una forte connotazione affettiva. Inoltre, per evitare un effetto confondente delle categorie semantiche, dovuto ad esempio alla presentazione di un elevato numero di item appartenenti ad una certa categoria, sono state utilizzate parole appartenenti a numerose e diverse categorie semantiche, senza che una categoria avesse una frequenza di occorrenza elevata rispetto alle altre.

Gli stimoli erano presentati uno per uno al centro di un monitor a colori collegato ad un computer situato fuori dalla cabina di registrazione, nel carattere Arial Narrow, ed erano bianchi su sfondo nero. La loro lunghezza variava da 5 a 8 cm, erano alti 1 cm e mediamente sottendevano un angolo visivo pari a  $0^{\circ}30'10''$  in riferimento alla loro altezza, un angolo visivo variabile da  $2^{\circ}31'51''$  a  $4^{\circ}1'22''$  in riferimento alla loro lunghezza.

Sono state create 10 sequenze sperimentali, ciascuna composta da 60 trial (15 parole concrete, 15 parole astratte, 30 pseudoparole presentate in modo randomizzato); tutte le sequenze duravano circa 2 minuti e cominciavano con la presentazione di tre parole di avvertimento ("ATTENZIONE", "PRONTI", "VIA") della durata di 800 ms. Ogni stimolo rimaneva sullo schermo per 200 ms ed era seguito da un ISI compreso fra 1400 e 1600 ms. Durante l'ISI, permaneva al centro dello schermo un punto di fissazione (una crocetta bianca), sul quale i partecipanti erano istruiti a mantenere lo sguardo. L'ordine di presentazione delle sequenze sperimentali è stato controbilanciato fra i partecipanti.

In modo analogo all'esperimento precedente, i partecipanti venivano fatti sedere su una poltrona posta all'interno di una cabina anecoica ed elettricamente schermata (gabbia di Faraday), ad una distanza di circa 114 cm da un monitor PC ad alta risoluzione; erano istruiti a minimizzare qualsiasi movimento degli occhi e del corpo durante il periodo di registrazione.

Il compito consisteva nel premere un tasto con il dito indice di una mano ogni volta che lo stimolo presentato era una parola esistente e un tasto diverso con il dito indice dell'altra mano nel caso in cui lo stimolo presentato fosse una pseudoparola (compito di decisione lessicale). Ad ogni partecipante veniva fornito un foglio con le istruzioni del compito, che erano ulteriormente illustrate a voce dallo sperimentatore. Prima dell'inizio di ogni sequenza lo sperimentatore suggeriva con quale mano rispondere, in modo che il volontario usasse alternativamente la mano destra e la mano sinistra per le parole. La sequenza delle mani con cui rispondere è stata controbilanciata fra i partecipanti. Per consentire una maggior familiarità con il compito, è stata predisposta una fase di addestramento costituita da due sequenze, ciascuna di 32 stimoli, realizzate seguendo gli stessi criteri adottati per le sequenze sperimentali.

La registrazione EEG è stata condotta utilizzando la stessa procedura descritta negli esperimenti precedenti, pertanto rimandiamo al paragrafo 3.2.3 per una descrizione dettagliata della stessa.

### **5.2.3 Analisi dei dati**

Per ogni partecipante, sono stati esclusi dalle analisi statistiche i tempi di reazione che eccedevano la media di  $\pm 2$  deviazioni standard. I tempi di reazione medi e l'accuratezza, trasformata secondo la funzione arcoseno, sono stati analizzati mediante l'ANOVA per misure ripetute. Sono stati presi in considerazione i fattori di variabilità categoria linguistica (3 livelli: parole astratte, parole concrete, pseudoparole) e mano usata per rispondere (2 livelli: destra e sinistra).

Le componenti ERP d'interesse sono state analizzate mediante l'ANOVA per misure ripetute sull'ampiezza media (*mean amplitude*) dell'onda. Sono stati presi in considerazione i fattori di variabilità categoria linguistica (3 livelli: parole astratte, parole concrete, pseudoparole), elettrodo (diverso in funzione delle componenti ERP misurate) ed emisfero cerebrale (2 livelli: sinistro e destro). In particolare, per le componenti posteriori sono state prese in considerazione due finestre temporali, la prima (300-400 ms) sugli elettrodi PO9, PO10, P9, P10, la seconda (350-380 ms) sugli elettrodi Iz, OI1h, OI2h; per le componenti centro-parietali è stata misurata l'ampiezza media del segnale in una finestra temporale compresa fra 500 e 600 ms sugli elettrodi CPP5h, CPP6h, TPP7h, TPP8h; infine, per le componenti anteriori è stata misurata l'ampiezza media del segnale in una finestra temporale compresa fra 370 e 570 ms sugli elettrodi AFF1, AFF2, AFp3h, AFp4h. Sono stati applicati i post-hoc Tukey test per i confronti tra le medie.

## **5.3 Risultati**

### **5.3.1 Risultati comportamentali**

L'analisi dei tempi di reazione ha messo in evidenza un effetto della mano ( $F_{1,14} = 10.25$ ;  $p < 0.01$ ), che ha dimostrato come i partecipanti fossero più veloci a rispondere con la mano destra piuttosto che con la mano sinistra ( $dx = 657$  ms,  $DS = 92.87$ ;  $sx = 676$  ms,  $DS = 88.0$ ). Inoltre l'effetto della categoria linguistica ( $F_{2,28} = 25.47$ ;  $p < 0.001$ ), ha dimostrato che i partecipanti erano più veloci nel rispondere alle parole astratte e concrete piuttosto che alle pseudoparole ( $A = 656$  ms,  $DS = 81.76$ ;  $C = 645$  ms,  $DS = 79.01$ ;  $PS = 699$  ms,  $DS = 100.91$ ). I confronti post-hoc hanno suggerito che tale effetto fosse di natura lessicale (effetto di superiorità delle parole), dal momento che non è stata rilevata una differenza significativa fra i tempi di risposta alle parole astratte e concrete, mentre sia le parole astratte che le parole

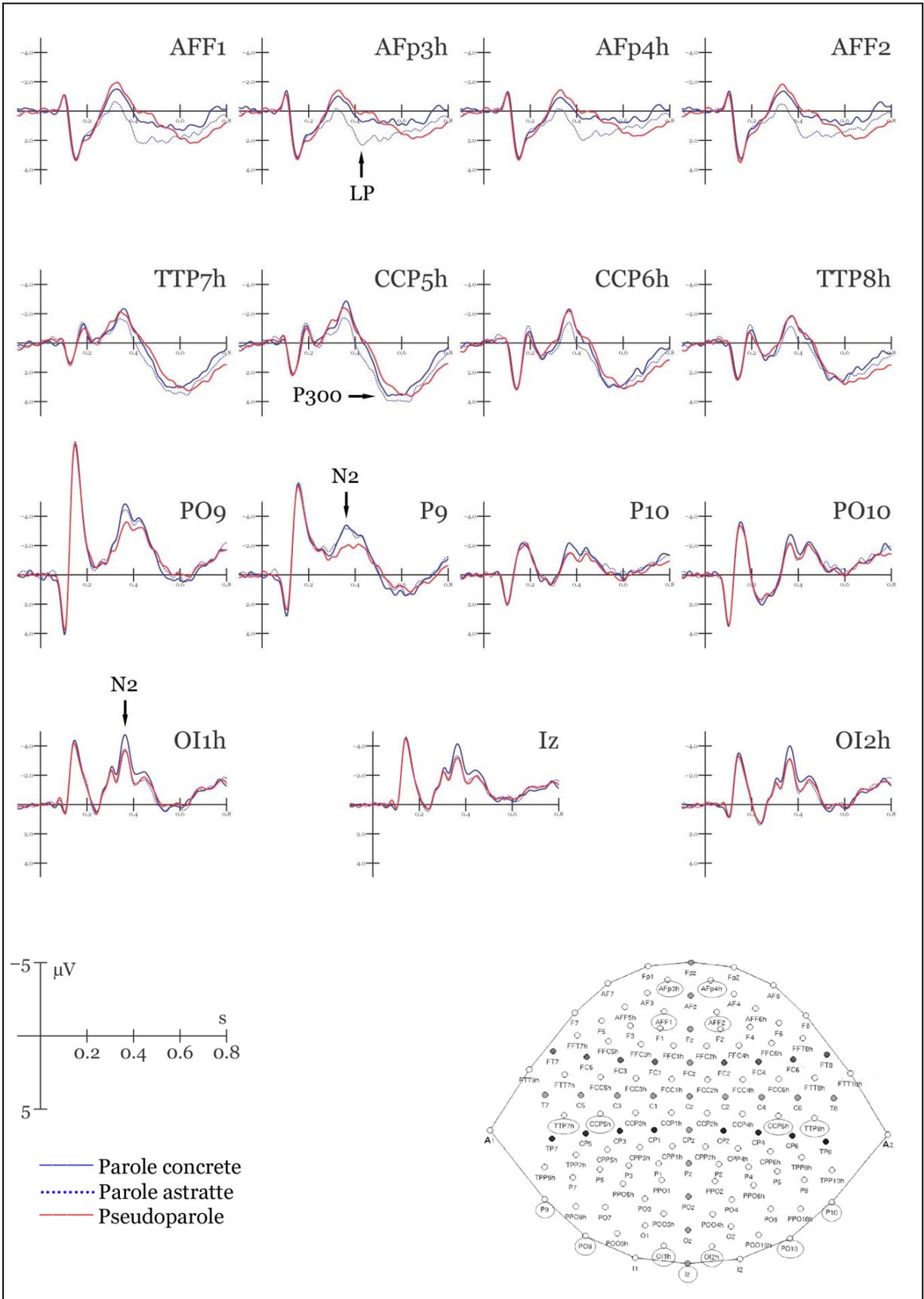
concrete differivano in modo significativo ( $p < 0.001$ ) dalle pseudoparole. Tuttavia, una successiva analisi degli effetti semplici in cui sono state confrontate direttamente le parole astratte e quelle concrete ha messo in evidenza che la differenza fra i tempi di risposta alle parole concrete (più veloci) e alle parole astratte raggiungeva la significatività statistica ( $F_{1,14} = 5.00$ ;  $p < 0.05$ ).

L'analisi dell'accuratezza (categorizzazioni scorrette) ha messo in evidenza un effetto della categoria linguistica ( $F_{2,28} = 5.83$ ;  $p < 0.01$ ). Il confronto fra le percentuali d'errore ha consentito di osservare che i soggetti commettevano più errori nel rispondere alle parole piuttosto che alle pseudoparole ( $A = 2.78\%$ ;  $C = 2.67\%$ ;  $PS = 1.57\%$ ). Di nuovo, i confronti post-hoc hanno suggerito che l'effetto fosse di natura lessicale, dal momento che è stata rilevata una differenza significativa fra l'accuratezza nel rispondere alle parole astratte e alle pseudoparole ( $p < 0.01$ ) e fra l'accuratezza nel rispondere alle parole concrete e alle pseudoparole ( $p < 0.05$ ), mentre le parole astratte e le parole concrete non differivano in modo significativo.

Il numero di omissioni era molto basso ( $A = 0.06\%$ ;  $C = 0.01\%$ ;  $PS = 0.13\%$ ) e non differiva in modo statisticamente significativo fra le tre classi linguistiche.

### **5.3.2 Risultati elettrofisiologici**

La Figura 5.1 mostra le grandi medie ERP registrate in risposta alle parole astratte, alle parole concrete e alle pseudoparole e rappresenta un riassunto dei risultati descritti qui di seguito. L'analisi della componente P1, che raggiungeva la massima ampiezza sui siti occipitali intorno a 100 ms, nonché l'analisi della componente N1, che raggiungeva la massima ampiezza sui siti occipito-laterali intorno a 150 ms, non ha rivelato alcun effetto significativo delle categorie stimolo prese in esame in questo esperimento.



**Figura 5.1** Grandi medie ERP registrate in risposta alle parole concrete (linea continua blu), alle parole astratte (linea tratteggiata blu) e alle pseudoparole (linea continua rossa).

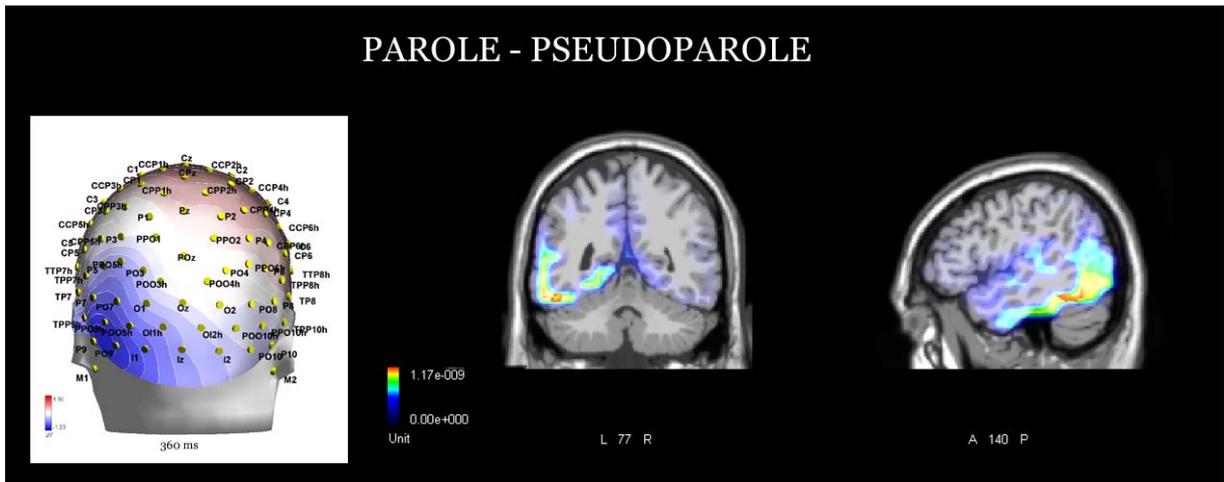
### **Componente N2 occipitale laterale (300-400 ms)**

Questa componente raggiungeva la massima ampiezza sui siti occipitali laterali e occipito-temporali (PO9, PO10, P9, P10). In questa prima finestra temporale è risultato significativo l'effetto dell'emisfero ( $F_{1,14} = 11.30$ ;  $p < 0.005$ ), che ha suggerito una maggior attivazione dell'emisfero sinistro rispetto all'emisfero destro ( $ES = -2.69$ ;  $ED = -1.07 \mu V$ ). Inoltre, l'effetto della categoria linguistica ( $F_{2,28} = 6.54$ ;  $p < 0.01$ ), ha messo in evidenza un'attivazione maggiore in risposta alle parole concrete, seguite dalle parole astratte, a fronte di un'attivazione inferiore in risposta alle pseudoparole ( $A = -1.90$ ;  $C = -2.17$ ;  $PS = -1.56 \mu V$ ). I confronti post-hoc hanno suggerito che ci fosse una differenza significativa solo fra le parole concrete e le pseudoparole ( $p < 0.001$ ). L'analisi dei post-hoc dell'interazione "Categoria linguistica x Emisfero" ( $F_{2,28} = 14.56$ ;  $p < 0.001$ ) ha consentito di comprendere meglio l'effetto principale della categoria linguistica, suggerendo come sull'emisfero sinistro ci fosse un chiaro effetto di superiorità delle parole ( $ES: A = -2.90$ ;  $C = -3.01$ ;  $PS = -2.14 \mu V$ ), dal momento che sia le parole concrete sia le parole astratte differivano in modo significativo dalle pseudoparole ( $p < 0.001$ ), mentre non c'era differenza fra l'elaborazione delle parole astratte e delle parole concrete. Diversamente, sull'emisfero destro l'effetto di superiorità delle parole era evidente solo nel confronto fra le parole concrete e le pseudoparole ( $ED: A = -0.90$ ;  $C = -1.34$ ;  $PS = -0.98 \mu V$ ); infatti, i confronti post-hoc hanno messo in evidenza una differenza significativa fra l'elaborazione delle parole concrete e delle pseudoparole ( $p < 0.05$ ), ma non fra l'elaborazione delle parole astratte e delle pseudoparole.

Alla luce dei risultati ottenuti dall'analisi di questa componente, LORETA è stata applicata sul picco dell'onda di differenza "parole meno pseudoparole", in un intervallo compreso fra 345 e 365 ms. La soluzione inversa mostra un grande focus di attivazione nel giro fusiforme dell'emisfero sinistro, in corrispondenza della BA 37 (si veda la Tabella 5.1 e la Figura 5.2).

<b>Magnitudo (E-10)</b>	<b>T-x [mm]</b>	<b>T-y [mm]</b>	<b>T-z [mm]</b>	<b>Emisfero</b>	<b>Lobo</b>	<b>Giro</b>	<b>BA</b>
11,7	-48,5	-44,8	-16,9	S	T	Giro fusiforme	37
6,98	21,2	-16,1	-22,2	D	Limbico	Giro paraippocampale	28
5,52	1,5	-29,4	26	D	Limbico	Giro del cingolo	23
5,05	-8,5	57,3	-9	S	F	Giro frontale superiore	10
4,54	1,5	38,2	-17,9	D	F	Giro frontale mediale	11
3,73	-28,5	56,3	-1,6	S	F	Giro frontale superiore	10
3,63	-8,5	65,3	7,9	S	F	Giro frontale superiore	10
3,16	-38,5	-21	35,7	S	P	Giro postcentrale	3
2,20	40,9	-30,4	34,9	D	P	Lobulo parietale inferiore	40

**Tabella 5.1 Coordinate Talairach relative ai generatori intracorticali che spiegano la distribuzione di voltaggio registrata in corrispondenza dell'onda di differenza "parole – pseudoparole" nell'intervallo temporale compreso fra 345 e 365 ms. Power RMS = 19,6  $\mu V$ .**



**Figura 5.2** A sinistra: distribuzione di voltaggio della componente N2 occipitale laterale in corrispondenza dell'onda di differenza "parole – pseudoparole". A destra: localizzazione del generatore intracorticale in corrispondenza della stessa onda ERP (345-365 ms). È illustrato il dipolo corrispondente all'attivazione del giro fusiforme dell'emisfero sinistro (BA 37).

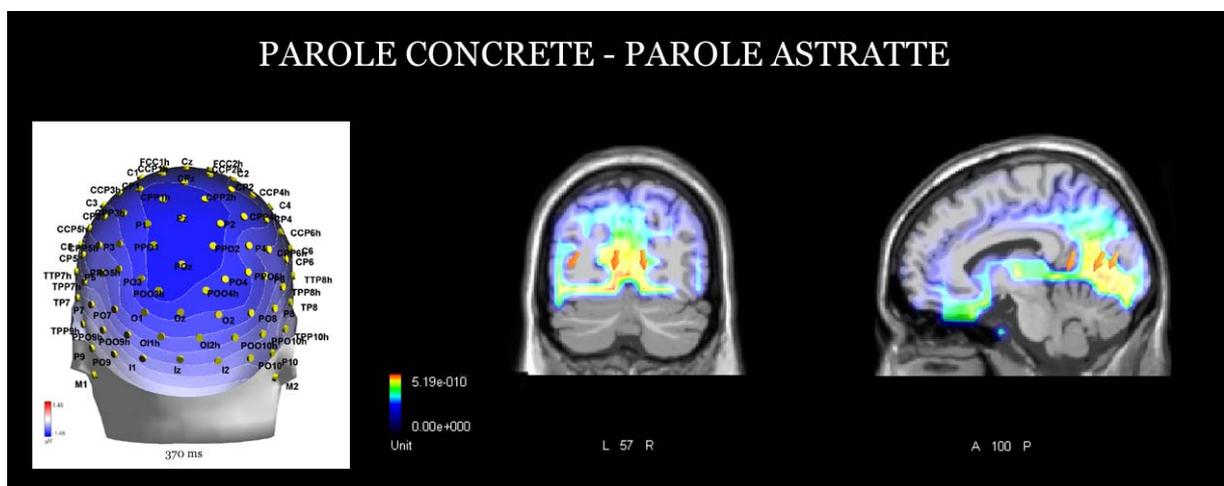
### ***Componente N2 occipitale mediale (350-380 ms)***

Questa componente raggiungeva la massima ampiezza sulle regioni occipitali mediali, in particolare sugli elettrodi Iz, OI1h, OI2h. In questa finestra temporale l'effetto dell'elettrodo ( $F_{2,28} = 5.66$ ;  $p < 0.01$ ) ha suggerito che la risposta registrata sull'elettrodo OI1h era maggiore rispetto alla risposta registrata sugli elettrodi Iz e OI2h ( $Iz = -3.32$ ;  $IO1h = -3.82$ ;  $IO2h = -3.20 \mu V$ ), come dimostrato dai confronti post-hoc ( $IO1h$  vs.  $Iz$   $p < 0.05$ ;  $IO1h$  vs.  $IO2h$   $p < 0.05$ ;  $Iz$  vs.  $IO2h$  n.s.). L'effetto della categoria linguistica ( $F_{2,28} = 10.46$ ;  $p < 0.001$ ) ha mostrato che le parole concrete evocavano una risposta maggiore (più negativa) rispetto alle parole astratte e alle pseudoparole ( $A = -3.16$ ;  $C = -4.06$ ;  $PS = -3.12 \mu V$ ), come dimostrato dai confronti post-hoc ( $C$  vs.  $A$   $p < 0.005$ ;  $C$  vs.  $PS$   $p < 0.005$ ;  $A$  vs.  $PS$  n.s.). L'interazione "Categoria linguistica x Elettrodo" ( $F_{4,56} = 6.75$ ;  $p < 0.001$ ) ha testimoniato che le considerazioni fatte a proposito dell'effetto principale della categoria linguistica valevano per tutti e tre gli elettrodi ( $Iz$ :  $A = -3.11$ ;  $C = -3.87$ ;  $PS = -2.96 \mu V$ ;  $IO1h$ :  $A = -3.52$ ;  $C = -4.51$ ;  $PS = -3.44 \mu V$ ;  $IO2h$ :  $A = -2.86$ ;  $C = -3.79$ ;  $PS = -2.96 \mu V$ ). Infatti, su tutti e tre gli elettrodi i confronti post-hoc erano del tutto analoghi a quelli mostrati per l'effetto della categoria linguistica ( $C$  vs.  $A$   $p < 0.001$ ;  $C$  vs.  $PS$   $p < 0.001$ ;  $A$  vs.  $PS$  n.s.).

In questo contesto, LORETA è stata applicata sull'onda di differenza "parole concrete meno parole astratte" nell'intervallo compreso fra 360 e 380 ms. La soluzione inversa mostra una grande attivazione delle regioni occipitali dell'emisfero sinistro (si veda la Tabella 5.2 e la Figura 5.3), in particolare del giro linguale (BA 18) e del giro occipitale medio (BA 19), oltre che un'attivazione del giro paraippocampale dell'emisfero destro (BA 34) e del giro temporale medio di entrambi gli emisferi (BA 21 e 22).

<b>Magnitudo (E-10)</b>	<b>T-x [mm]</b>	<b>T-y [mm]</b>	<b>T-z [mm]</b>	<b>Emisfero</b>	<b>Lobo</b>	<b>Giro</b>	<b>BA</b>
5,37	-8,5	-66,1	-10,9	S	Cervelletto	Lobo posteriore, Declivio	
4,75	-8,5	-0,6	-28,2	S	Limbico	Uncus	28
4,58	11,3	-9,4	-14	D	Limbico	Giro paraippocampale	34
4,51	-38,5	-78,2	3,8	S	O	Giro occipitale medio	19
4,46	21,2	9,1	-27,5	D	Limbico	Uncus	38
4,20	-48,5	-36,6	-1,3	S	T	Giro temporale medio	22
4,05	50,8	-0,6	-28,2	D	T	Giro temporale medio	21

**Tabella 5.2** Coordinate Talairach relative ai generatori intracorticali che spiegano la distribuzione di voltaggio registrata in corrispondenza dell'onda di differenza "parole concrete – parole astratte" nell'intervallo temporale compreso fra 360 e 380 ms. Power RMS = 9,9  $\mu$ V.



**Figura 5.3** A sinistra: distribuzione di voltaggio della componente N2 occipitale mediale in corrispondenza dell'onda di differenza "parole concrete – parole astratte". A destra: localizzazione del generatore intracorticale in corrispondenza della stessa onda ERP (360-380 ms). Sono illustrati i dipoli corrispondenti all'attivazione del giro paraippocampale dell'emisfero destro, del giro linguale e del giro occipitale mediale dell'emisfero sinistro.

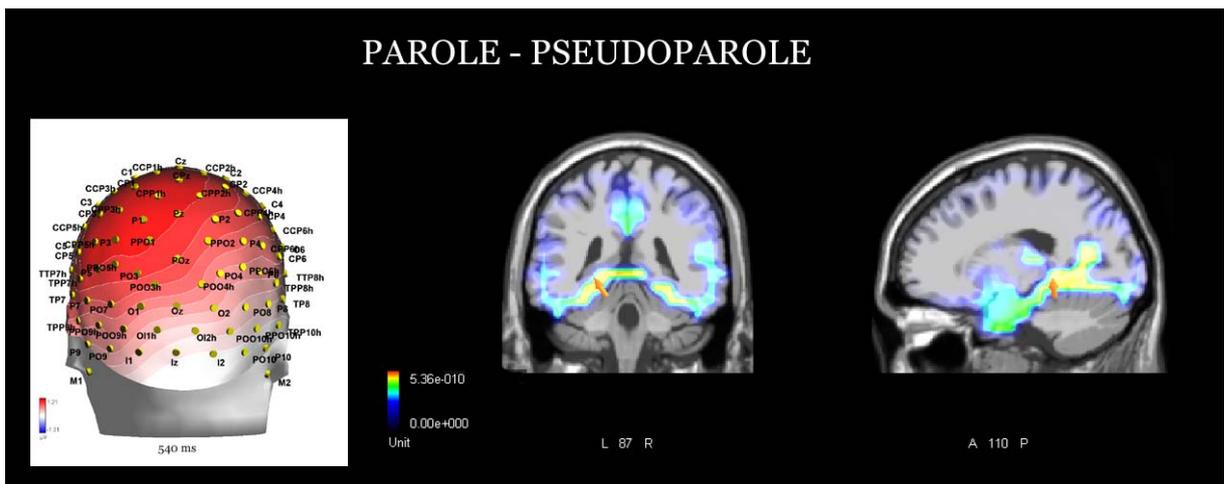
### **Componente P300 temporo-parietale (500-600 ms)**

Questa componente raggiungeva la massima ampiezza sui siti centro-parietali e temporali (CPP5h-CPP6h, TTP7h, TTP8h). L'effetto dell'elettrodo ( $F_{1,14} = 11.51$ ;  $p < 0.005$ ) ha suggerito come la risposta registrata sulle regioni centro-parietali (elettrodo CPP5h-CPP6h) fosse maggiore (più positiva) rispetto alla risposta registrata sulle regioni temporali (CPP5h-CPP6h = 2.71; TTP7h-TTP8h = 2.13  $\mu$ V). L'interazione "Categoria linguistica x Emisfero" ( $F_{2,28} = 6.83$ ;  $p < 0.005$ ) ha suggerito che solo sull'emisfero sinistro c'era un chiaro effetto lessicale (ES: A = 3.21; C = 3.08; PS = 2.21  $\mu$ V), considerando che è stata riscontrata una differenza significativa fra l'elaborazione delle parole concrete e delle pseudoparole ( $p < 0.001$ ), fra l'elaborazione delle parole astratte e delle pseudoparole ( $p < 0.001$ ), ma non fra l'elaborazione delle parole astratte e delle parole concrete. Sull'emisfero destro (ED: A = 2.08; C = 2.15; PS = 1.81  $\mu$ V), i confronti post-hoc non hanno messo in evidenza alcuna differenza significativa fra le categorie linguistiche.

Nella finestra temporale di questa componente, LORETA è stata applicata sull'onda di differenza "parole meno pseudoparole", in un intervallo compreso fra 530 e 550 ms. In questo caso, la soluzione inversa mostra un grande focus di attivazione nel giro paraippocampale (BA 35), oltre che un'attivazione del giro temporale medio (BA 22) e del giro temporale superiore (BA 41) dell'emisfero sinistro (si veda la Tabella 5.3 e la Figura 5.4).

<i>Magnitudo (E-10)</i>	<i>T-x [mm]</i>	<i>T-y [mm]</i>	<i>T-z [mm]</i>	<i>Emisfero</i>	<i>Lobo</i>	<i>Giro</i>	<i>BA</i>
5,27	-18,5	-35,7	-8,8	S	Limbico	Giro paraippocampale	35
3,68	-48,5	-36,6	-1,3	S	T	Giro temporale medio	22
3,22	-38,5	-28,5	17,1	S	T	Giro temporale superiore	41
2,48	-38,5	-21	35,7	S	P	Giro postcentrale	3
2,04	40,9	2,4	29,4	D	F	Giro precentrale	6

**Tabella 5.3** Coordinate Talairach relative ai generatori intracorticali che spiegano la distribuzione di voltaggio registrata in corrispondenza dell'onda di differenza "parole – pseudoparole" nell'intervallo temporale compreso fra 530 e 550 ms. Power RMS = 11  $\mu$ V.



**Figura 5.4** A sinistra: distribuzione di voltaggio della componente P300 in corrispondenza dell'onda di differenza "parole – pseudoparole". A destra: localizzazione del generatore intracorticale in corrispondenza della stessa onda ERP (530-550 ms). È illustrato il dipolo corrispondente all'attivazione del giro paraippocampale dell'emisfero sinistro.

### **Componente LP (Late Positivity, 370-570 ms)**

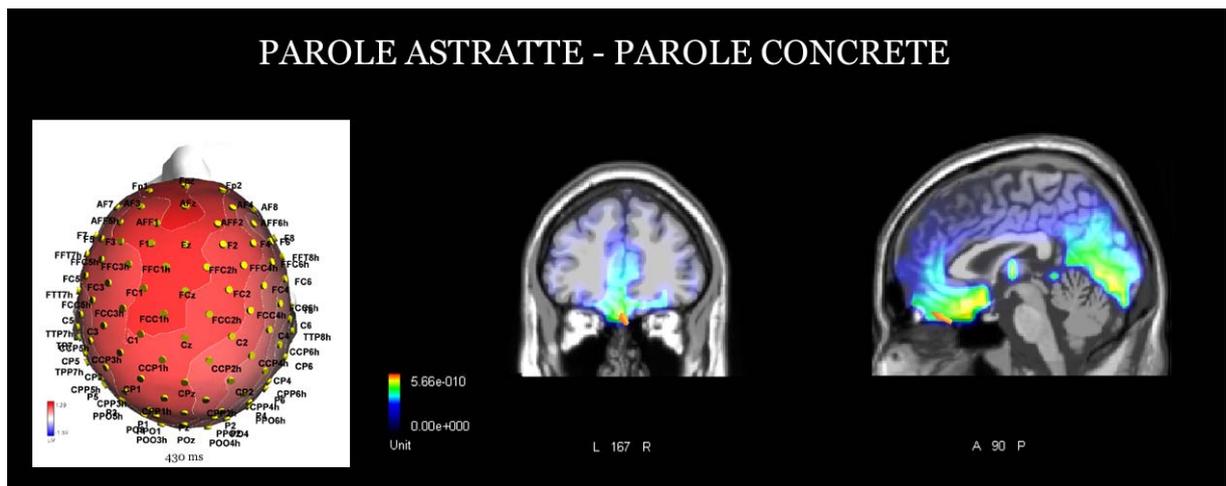
Questa componente raggiungeva la massima ampiezza sui siti prefrontali (AFF1, AFF2, AFp3h, AFp4h). In quest'ultima finestra temporale, l'effetto della categoria linguistica ( $F_{2,28} = 14.10$ ;  $p < 0.001$ ) ha mostrato che le parole astratte evocavano una risposta maggiore (più positiva) rispetto alle parole concrete e alle pseudoparole ( $A = 1.65$ ;  $C = 0.61$ ;  $PS = 0.13 \mu$ V), come dimostrato dai confronti post-hoc ( $A$  vs.  $C$   $p < 0.005$ ;  $A$  vs.  $PS$   $p < 0.001$ ;  $C$  vs.  $PS$  n.s.).

In corrispondenza di quest'ultima componente, LORETA è stata applicata sul picco dell'onda di differenza "parole astratte meno parole concrete", in un intervallo compreso fra 425 e 445

ms. Come risulta chiaro osservando la Tabella 5.4 e la Figura 5.5, la soluzione inversa mostra un grande focus di attivazione nel giro frontale mediale (BA 11) dell'emisfero destro.

<b>Magnitudo (E-10)</b>	<b>T-x [mm]</b>	<b>T-y [mm]</b>	<b>T-z [mm]</b>	<b>Emisfero</b>	<b>Lobo</b>	<b>Giro</b>	<b>BA</b>
5,66	-28,5	-8	-28,9	S	Limbico	Uncus	28
5,49	-8,5	-0,6	-28,2	S	Limbico	Uncus	28
5,24	11,3	-9,4	-14	D	Limbico	Giro paraippocampale	34
5,22	21,2	-0,6	-28,2	D	Limbico	Uncus	36
5,16	-58,5	-34,7	-16,2	S	T	Giro temporale inferiore	20
5,02	1,5	38,2	-17,9	D	F	Giro frontale mediale	11
5,01	-8,5	-77,2	-4,2	S	O	Giro linguale	18
3,28	1,5	-29,4	26	D	Limbico	Giro del cingolo	23

**Tabella 5.4 Coordinate Talairach relative ai generatori intracorticali che spiegano la distribuzione di voltaggio registrata in corrispondenza dell'onda di differenza "parole astratte – parole concrete" nell'intervallo temporale compreso fra 425 e 445 ms. Power RMS = 11,5  $\mu$ V.**



**Figura 5.5 A sinistra: distribuzione di voltaggio della componente LP in corrispondenza dell'onda di differenza "parole astratte – parole concrete". A destra: localizzazione del generatore intracorticale in corrispondenza della stessa onda ERP (425-445 ms). È illustrato il dipolo corrispondente all'attivazione del giro frontale mediale dell'emisfero destro.**

## 5.4 Discussione

Sui siti posteriori, nella regione occipito-temporale dell'emisfero sinistro, la componente N2 era caratterizzata da una maggiore negatività in risposta alle parole, sia che fossero astratte sia che fossero concrete, rispetto alle pseudoparole. In accordo con i dati della letteratura, l'andamento di questa componente ha dimostrato come la corteccia occipito-temporale dell'emisfero sinistro (BA 37) fosse sensibile alla familiarità visiva delle parole. Alla luce dei risultati presentati, non sembra possibile affermare che questa regione cerebrale esibisse proprietà funzionali imputabili alla concretezza delle parole. Considerando che questa componente non solo esibiva le stesse proprietà di risposta, ma è stata misurata sugli stessi

elettrodi e nella stessa finestra temporale della componente i cui risultati sono descritti nel paragrafo 3.3.2, si rimanda al paragrafo 3.4 per una discussione più approfondita dell'ipotesi che la regione occipito-temporale, in particolare il giro fusiforme dell'emisfero sinistro (BA 37), giochi un ruolo cruciale nella rappresentazione della forma visiva delle parole.

L'effetto lessicale (discriminazione parola/pseudoparola) era presente anche nella latenza della componente P300 temporo-parietale e si concretizzava in una maggiore positività in risposta alle parole (sia astratte sia concrete) piuttosto che alle pseudoparole. L'andamento di questa componente potrebbe riflettere un processo di riconoscimento/codifica delle parole dotate di significato. Quest'ipotesi è supportata dai risultati comportamentali, che mostravano risposte più veloci alle parole rispetto alle pseudoparole, oltre che dai risultati di LORETA, che suggeriscono un grande coinvolgimento della corteccia temporale dell'emisfero sinistro, in particolare del giro paraippocampale (BA 35), del giro temporale superiore (BA 41) e del giro temporale medio (BA 22). L'interpretazione dell'effetto riscontrato in questa finestra temporale è in accordo con quanto riportato nel contesto degli studi ERP sulla memoria di riconoscimento e sul recupero dalla memoria a lungo termine a proposito dell'effetto vecchio/nuovo parietale (Wilding & Rugg, 1996). Quest'effetto si concretizza in una differenza nei potenziali evocati da item vecchi e nuovi identificati correttamente, ha inizio intorno ai 400-500 ms post-stimolo ed è spesso di maggior ampiezza sui siti parietali dell'emisfero sinistro. Le interpretazioni funzionali dell'effetto vecchio/nuovo possono essere suddivise in quelle che legano l'effetto al ricordo e quelle che lo legano al riconoscimento basato sulla fluency linguistica (*fluency-based recognition*), o alla familiarità. I risultati della nostra P300 temporo-parietale sono in linea con la seconda interpretazione.

Nella stessa finestra temporale della componente N2 occipitale laterale, sui siti occipitali mediali è stata rilevata una negatività maggiore in risposta alle parole concrete rispetto alle parole astratte e alle pseudoparole. La distribuzione topografica degli ERP e la ricostruzione del generatore intracorticale tramite LORETA suggeriscono una forte attivazione delle aree visive, in particolare del giro linguale (BA 18) e del giro occipitale mediale (BA 19) dell'emisfero sinistro. Quest'effetto di concretezza potrebbe essere interpretato in termini di un maggior coinvolgimento delle aree visive extra-striate nei processi di elaborazione delle parole concrete, che in virtù del loro alto valore d'immagine potrebbero attivare un maggior numero di associazioni percettive/visive rispetto alle parole astratte.

È stato riscontrato un secondo effetto di concretezza nella finestra temporale compresa fra 370 e 570 ms sulle regioni prefrontali, che si concretizzava in una positività maggiore in risposta alle parole astratte rispetto alle parole concrete e alle pseudoparole. Come già discusso nel paragrafo 4.4, l'attività nella corteccia prefrontale è stata fortemente associata ai processi di controllo top-down della memoria semantica, in modo particolare alla selezione delle informazioni immagazzinate nella corteccia temporale durante i processi di recupero. L'interpretazione più plausibile di quest'effetto, alla luce del coinvolgimento della corteccia

prefrontale, è che le parole astratte necessitassero di un maggiore sforzo cognitivo per essere elaborate, nonché di processi controllati, a fronte di un'elaborazione più automatica delle parole concrete e delle pseudoparole. Sembra ragionevole ipotizzare che le parole concrete siano state elaborate più facilmente grazie all'attivazione automatica delle associazioni percettive/visive e che le pseudoparole siano state scartate in virtù di un mancato riconoscimento o detto in altri termini, che siano state classificate in modo automatico come non-parole, non raggiungendo un sufficiente livello di attivazione lessicale globale. L'effetto riscontrato in questa finestra temporale potrebbe render conto della maggiore velocità nei tempi di risposta alle parole concrete rispetto alle parole astratte. Nel capitolo precedente, è stata fornita un'interpretazione analoga dei risultati della componente LP anteriore, che mostrava una maggiore positività in risposta alle parole che denotavano nomi di vegetali rispetto ai nomi di animali, suggerendo che l'elaborazione dei nomi di vegetali richiedesse un maggior carico di risorse cognitive.

In generale, sulla base dell'andamento delle componenti ERP e della distribuzione del voltaggio sullo scalpo, è possibile concludere che l'elaborazione delle parole concrete implicasse un maggior coinvolgimento delle regioni occipitali e che l'elaborazione delle parole astratte implicasse un maggior coinvolgimento delle regioni prefrontali. I risultati di LORETA confermano in parte quest'osservazione. Infatti è stata riscontrata una forte attivazione delle regioni visive dell'emisfero sinistro (BA 18 e BA 19) nella latenza della componente N2 occipitale mediale (più ampia in risposta alle parole concrete), mentre nella latenza della componente LP anteriore (più ampia in risposta alle parole astratte) è stata rilevata un'attivazione frontale inferiore (BA 11), assente nella latenza della N2 occipitale mediale. Tuttavia, in entrambi i casi è stata osservata un'attivazione bilaterale delle regioni mediali e laterali del lobo temporale. In particolare, nella latenza della componente N2 occipitale mediale è stata rilevata un'attivazione bilaterale dell'uncus (BA 28 e BA 38), del giro paraippocampale dell'emisfero destro (BA 34) e del giro temporale medio di entrambi gli emisferi (BA 21 e BA 22). Nella latenza della componente LP anteriore è stata osservata una forte attivazione delle regioni mediali del lobo temporale, in particolare dell'uncus e del giro paraippocampale di entrambi gli emisferi (BA 28, BA 34 e BA 36). Da un lato, l'attivazione delle regioni basali del lobo temporale in corrispondenza dell'elaborazione delle parole concrete è in linea con i risultati di uno studio fMRI condotto da Fiebach e Friederici (2004). Utilizzando un compito di decisione lessicale, questi autori hanno riscontrato una maggior attivazione della parte triangolare del giro frontale inferiore sinistro in risposta alle parole astratte e una maggior attivazione delle regioni basali del lobo temporale sinistro in risposta alle parole concrete. Diversi studi hanno dimostrato come questa regione sia coinvolta nei processi di elaborazione visiva di alto livello e di generazione di immagini mentali. È stato suggerito che in queste regioni cerebrali e nella vicina corteccia visiva associativa sia rappresentata la semantica basata sulle caratteristiche degli oggetti, come forma, colore ecc.

(si veda il paragrafo 4.4). D'altro canto, l'attivazione delle regioni temporali è stata associata a processi di recupero lessicale/semantico ed è stata associata sia all'elaborazione delle parole concrete sia all'elaborazione delle parole astratte (Perani e coll., 1999; Kiehl e coll., 1999; Binder e coll., 2005). Alla luce dei risultati di LORETA, sembra possibile affermare che le parole astratte e le parole concrete attivino circuiti neurali comuni e che l'elaborazione di queste due classi di parole differisca in termini di un maggior coinvolgimento delle aree visive extra-striate nei processi di elaborazione delle parole concrete, a fronte di un maggior coinvolgimento della corteccia prefrontale nei processi di elaborazione delle parole astratte. Per questa ragione, in accordo con quanto affermato da Fiebach e Friederici (2004), pensiamo che le differenze nell'elaborazione delle parole astratte e concrete potrebbero essere interpretate non tanto in termini di una diversa rappresentazione delle parole, quanto in riferimento ai processi cognitivi che supportano il riconoscimento delle parole e i processi di accesso lessico-semantic; in particolare, il riconoscimento delle parole astratte potrebbe essere legato a processi di recupero semantico di tipo controllato, mentre il riconoscimento delle parole concrete potrebbe essere associato a processi di generazione di immagini mentali di tipo automatico. A questo proposito, vogliamo ricordare uno studio condotto di recente che sembra aver prodotto risultati analoghi ai nostri. Nel 2009, Lehmann e collaboratori hanno riesaminato tramite LORETA i risultati elettrofisiologici di due studi precedenti finalizzati all'indagine dell'attività elettrica corticale associata all'elaborazione di contenuti di pensiero astratto o concreto in due condizioni diverse, ovvero in una condizione *stimulus-independent thinking*, in cui i partecipanti erano liberi di pensare in assenza di stimolazione, e in una condizione in cui i partecipanti leggevano parole singole che variavano per valore d'immagine. I partecipanti avevano un compito simile nelle due condizioni: quando richiesto dallo sperimentatore dovevano rievocare l'ultimo pensiero che avevano esperito o l'ultima parola che avevano letto, senza che fosse chiesto loro di classificare i pensieri o le parole come astratte o concrete, né di compiere operazioni cognitive sugli stimoli o di generare immagini mentali. L'elaborazione dei pensieri concreti era associata ad un'attivazione delle regioni visive extra-striate lungo la via ventrale, che comprendeva le BA 18, 19, 37, 20, 21 e 22 dell'emisfero destro; l'elaborazione dei pensieri astratti era associata ad un'attivazione della corteccia frontale inferiore (BA 47) dell'emisfero sinistro.

Una questione a lungo dibattuta nella letteratura relativa all'elaborazione delle parole astratte e concrete riguarda le asimmetrie emisferiche. Alcuni ricercatori hanno suggerito che le parole concrete siano elaborate bilateralmente e che le parole astratte siano elaborate principalmente nell'emisfero dominante per il linguaggio. Come già anticipato nel capitolo introduttivo (paragrafo 2.3), gli studi di neuroimmagine non forniscono evidenze chiare in proposito. I nostri risultati non sembrano supportare l'ipotesi che possa esserci un maggior coinvolgimento dell'emisfero destro nei processi di elaborazione delle parole concrete. Infatti, mentre gli effetti che riflettevano processi di natura lessicale (rilevati nell'andamento della

componente N2 occipitale laterale e P300 temporo-parietale) esibivano una lateralizzazione a sinistra, né l'analisi della componente N2 occipitale mediale né quella della LP anteriore hanno messo in evidenza un effetto dell'emisfero. In linea con quest'osservazione, i risultati di LORETA sulle componenti N2 occipitale mediale e LP anteriore non sembrano suggerire una diversa lateralizzazione delle regioni cerebrali coinvolte nei processi di elaborazione delle parole astratte e concrete. L'unica differenza nella lateralizzazione delle risposte ERP è stata rilevata nell'andamento della componente N2 occipitale laterale. Infatti sull'emisfero sinistro è stato riscontrato un chiaro effetto di superiorità delle parole, mentre sull'emisfero destro l'effetto di superiorità delle parole era evidente solo nel confronto fra le parole concrete e le pseudoparole. A nostro modo di vedere, questo potrebbe supportare l'ipotesi che l'emisfero destro sia in grado di provvedere all'accesso lessicale di alcune parole concrete, in linea con le osservazioni neuropsicologiche di pazienti con lesioni all'emisfero sinistro che conservano la capacità di riconoscere le parole concrete, senza legittimare tuttavia a concludere che ci sia uno specifico coinvolgimento dell'emisfero destro nei processi di elaborazione delle parole concrete.

Un'ulteriore osservazione che vorremmo fare riguarda il confronto con gli studi ERP precedenti. È stato riscontrato che le parole concrete evocano una N400 più ampia rispetto alle parole astratte (Kounios & Holcomb, 1994; Holcomb e coll., 1999; West & Holcomb, 2000; Swaab e coll., 2002; Zhang e coll., 2006). Quest'osservazione sembra in contrasto con l'idea generale che le parole concrete siano più facili da elaborare rispetto alle parole astratte; infatti, come già evidenziato nei capitoli precedenti, la componente N400 sembra rappresentare un indice della difficoltà con cui le informazioni in entrata sono integrate con le informazioni semantiche immagazzinate in precedenza. Kounios e Holcomb (1994) hanno ipotizzato che l'incremento dell'ampiezza della N400 in risposta alle parole concrete possa essere interpretato in riferimento al fatto che le parole concrete attiveranno una maggior quantità di informazioni semantiche in memoria rispetto alle parole astratte. È doveroso sottolineare che la negatività registrata negli studi ERP appena citati, sebbene coincida temporalmente con la classica N400, ha una distribuzione topografica diversa rispetto a quella esibita tipicamente dalla N400, risultando massima sui siti di registrazione anteriori, mentre l'effetto della N400 è di solito centro-parietale. La spiegazione più plausibile per queste diverse distribuzioni è che la N400 sia in realtà il prodotto di diversi generatori neurali il cui peso varia in funzione delle richieste del compito e delle proprietà dello stimolo. In altre parole, probabilmente la N400 non riflette un processo unitario, quanto piuttosto processi distinti dal punto di vista neurale e legati funzionalmente. Tuttavia non ci è chiaro come riconciliare gli effetti di concretezza riscontrati in letteratura con le conoscenze relative alle proprietà funzionali della componente N400, né la ragione per cui in nessuno degli studi ERP precedenti sia stato riscontrato un effetto di concretezza sulle regioni posteriori, considerando ad esempio che West e Holcomb (2000) hanno chiamato in causa un modello

fondato sulla convinzione che gli stessi meccanismi di elaborazione sottendano sia la percezione visiva di alto livello sia la generazione di immagini mentali (Kosslyn, 1994). Come già evidenziato nel paragrafo introduttivo di questo capitolo, secondo le nostre ricerche, prima di noi solo Martín-Loeches e collaboratori (2001) hanno riscontrato un effetto di concretezza in latenze e regioni cerebrali diverse da quelle comunemente coinvolte nei processi che producono la N400.

In ultimo vorremmo sottolineare che, come nell'esperimento precedente, l'attenzione dei partecipanti era diretta alla discriminazione fra parole e pseudoparole, ovvero a qualcosa di diverso rispetto al nostro obiettivo di mettere in evidenza un'eventuale differente elaborazione delle parole astratte e concrete. Quest'aspetto accomuna i due esperimenti e li rende diversi dagli studi sull'elaborazione delle informazioni di natura semantica in cui i partecipanti hanno il compito di distinguere i due tipi di informazioni o di generare in modo consapevole immagini mentali durante o dopo la percezione degli stimoli. Considerando che la risoluzione corretta del compito non richiedeva la generazione di immagini mentali, è possibile affermare che le informazioni percettive/visive siano attivate in modo automatico durante i processi di riconoscimento delle parole scritte. Inoltre, il confronto con i risultati dell'esperimento precedente sembra suggerire che le regioni cerebrali coinvolte nei processi di accesso automatico alle informazioni semantiche che consentono la discriminazione categoriale e alle informazioni visive non siano sovrapponibili. Infatti nello studio precedente è stato rilevato che la componente N2 occipitale temporale esibiva un effetto della categoria semantica sull'emisfero sinistro. La distribuzione topografica degli ERP e la ricostruzione del generatore intracorticale tramite LORETA hanno suggerito un forte coinvolgimento delle aree visive extrastriate della via ventrale, in particolare della corteccia temporale inferiore dell'emisfero sinistro (BA 37 e BA 20). Come già discusso nel capitolo precedente, quest'osservazione va nella stessa direzione degli studi di neuroimmagine che hanno dimostrato un'attivazione della corteccia occipitale ventrale e della corteccia temporale durante l'elaborazione di nomi di oggetti viventi rispetto ad altri concetti. Il confronto fra i due esperimenti consente anche di confermare come l'effetto trovato in risposta all'elaborazione dei nomi di animali e di vegetali non sia imputabile al valore d'immagine delle parole, considerando che l'effetto del valore d'immagine delle parole, descritto in questo capitolo a proposito della componente N2 occipitale mediale, sembra risiedere nelle regioni più posteriori.

Riassumendo, alla luce dei risultati elettrofisiologici e comportamentali, sembra ragionevole supporre che le proprietà immaginative delle parole concrete rendessero tale categoria più "facile" da identificare. Le parole concrete potrebbero essere riconosciute in modo automatico grazie, almeno in parte, all'attivazione delle rappresentazioni percettive/visive. Al contrario le parole astratte potrebbero richiedere processi di elaborazione più controllati.

I nostri dati sembrano supportare in parte sia le previsioni della teoria del doppio codice sia quelle del modello della disponibilità del contesto. In accordo con il modello della disponibilità del contesto, secondo cui la comprensione delle parole astratte implica un maggiore sforzo per attivare le informazioni semantiche contestuali, è stata dimostrata una maggior attivazione delle regioni cerebrali di solito associate ai processi di recupero controllato delle conoscenze semantiche. D'altro canto, in linea con le previsioni della teoria del doppio codice, in corrispondenza delle parole concrete i nostri risultati dimostrano un incremento dell'attivazione delle regioni cerebrali coinvolte nei processi immaginativi, sembrano dunque confermare che la conoscenza concettuale relativa alle entità concrete sia supportata da rappresentazioni percettive basate sui sensi. La compatibilità dei due approcci è in linea con l'estensione della teoria del doppio codice proposta da West e Holcomb (2000). I nostri risultati suggeriscono ancora una volta che l'elaborazione semantica possa avvenire quasi simultaneamente ai processi di elaborazione delle informazioni relative alla forma di una parola e alle sue proprietà lessicali.

## **6 Esperimento 4: il ruolo del compito**

### **6.1 Introduzione**

Negli esperimenti descritti nel capitolo 3 e nel capitolo 5 ci siamo soffermati sulla descrizione e sulla discussione dell'attivazione di una regione cerebrale che ha ricevuto notevole attenzione negli ultimi anni. Nel contesto del primo esperimento, abbiamo rilevato come intorno a 300-400 ms dopo la presentazione dello stimolo la regione occipito-temporale dell'emisfero sinistro (BA 19 e BA 37) mostrasse un incremento della risposta alle parole e un gradiente di attivazione in risposta alle pseudoparole con diverso numero di vicini ortografici; nel contesto del terzo esperimento, abbiamo replicato lo stesso effetto nella stessa finestra temporale e sugli stessi elettrodi (PO9, PO10, P9, P10), usando stimoli e partecipanti diversi. In accordo con i risultati del primo esperimento, le parole erano discriminate dalle pseudoparole a partire da 300 ms dalla comparsa dello stimolo sulle regioni occipito-temporali dell'emisfero sinistro, in particolare nella BA 37, indicando probabilmente l'attività della VWFA. Questo potrebbe deporre a favore dell'ipotesi che esista un lessico visivo di input, che immagazzinerebbe la forma visiva delle parole conosciute, consentendo un accesso diretto al lessico tramite una via visiva (per una descrizione dettagliata di quest'ipotesi si veda il paragrafo 3.4).

Nei nostri esperimenti la comparsa dell'effetto lessicale sulle regioni occipito-temporali era relativamente tardiva rispetto ai risultati descritti in alcuni studi recenti (per una revisione si veda Dien, 2009). Per esempio, in uno studio MEG Assadollahi e Pulvermüller (2003) hanno trovato effetti precoci della frequenza di occorrenza delle parole intorno a 120-170 ms nel caso di brevi parole monosillabiche ed effetti di frequenza più tardivi (240-270 ms) indipendentemente dalla lunghezza delle parole sulla regione occipito-temporale dell'emisfero sinistro. Come abbiamo già sottolineato nel paragrafo 3.1 la latenza dei processi di natura semantica è un tema dibattuto in letteratura. Gli studi ERP e MEG hanno fornito evidenze contrastanti riguardo alla comparsa degli effetti lessicali, suggerendo che potrebbe avvenire a partire da 110 ms fino a 300-400 ms dopo la presentazione dello stimolo. Questa grande variabilità sembra dipendere in modo importante da alcuni parametri sperimentali. La lunghezza degli item potrebbe essere un fattore cruciale nel determinare effetti più precoci (nel caso di stimoli corti) o tardivi (nel caso di stimoli lunghi). Gli stimoli che abbiamo usato nel primo esperimento avevano una lunghezza che variava da 4 a 8 caratteri, quelli usati nel terzo esperimento avevano una lunghezza che variava da 6 a 10 caratteri; questo significa che i nostri stimoli erano più lunghi rispetto a quelli generalmente usati per la lingua inglese, che variano in media da 3 a 6 lettere. Inoltre va considerato che un diverso grado di trasparenza ortografica (da una maggiore trasparenza nel caso dell'italiano fino ad una minore

trasparenza dell'inglese) potrebbe avere un ruolo nell'attivazione della via visiva della lettura (Paulesu e coll., 2000) e potrebbe influire in modo significativo sulla latenza degli effetti ERP osservati sulle regioni occipito-temporali. Un altro fattore che potrebbe aver giocato un ruolo cruciale nella latenza degli effetti lessicali è la natura del compito. A questo proposito vorremmo ricordare due studi condotti dal nostro gruppo di ricerca. In uno studio che indagava il decorso temporale dell'attivazione cerebrale durante l'elaborazione visiva di parole presentate nella lingua nativa e in lingue acquisite in età tardiva negli interpreti simultanei, Proverbio e collaboratori (2009) hanno riportato l'esistenza di un effetto lessicale precoce (discriminazione parola/non-parola) sui siti occipito-temporali dell'emisfero sinistro intorno a 160-180 ms solo nella lingua nativa, nonostante il compito fosse di natura ortografica (rilevamento di una lettera target) e non richiedesse pertanto un'elaborazione lessico-semantiche. In un altro studio recente condotto utilizzando lo stesso paradigma, Proverbio e collaboratori (2008) hanno trovato una componente N2 (240-300 ms) più ampia in risposta alle parole ad alta frequenza d'uso rispetto a quelle a bassa frequenza d'uso o alle pseudoparole sulle regioni occipitali laterali dell'emisfero sinistro. Entrambi questi esperimenti sono stati condotti usando parole espresse nella lingua italiana e gli stimoli erano di lunghezza paragonabile a quelli usati nei due esperimenti descritti in questo lavoro. Partendo da queste premesse è nata la curiosità di indagare se la natura del compito potesse aver influito sulla latenza dell'effetto di familiarità visiva per le parole registrato sulle regioni occipito-temporali. A questo scopo l'esperimento che descriveremo in questo capitolo è stato condotto usando gli stessi stimoli del terzo esperimento, ma chiedendo ai partecipanti di risolvere un compito ortografico (rilevamento di una lettera target). Dal momento che gli stimoli, la procedura, il setting e la tecnica di registrazione dell'EEG erano gli stessi di quelli utilizzati per l'esperimento descritto nel capitolo precedente, ci eravamo proposti di confrontare l'attività bioelettrica registrata in risposta alle parole nel contesto della risoluzione del compito ortografico e del compito di decisione lessicale, allo scopo di indagare il modo in cui l'attenzione alle lettere piuttosto che alle parole potesse modificare l'attività bioelettrica associata ai processi di elaborazione degli stimoli linguistici.

Inoltre, considerando che il set di stimoli comprendeva sia parole concrete sia parole astratte, ci eravamo proposti di verificare se fosse possibile replicare i risultati di uno studio condotto da West e Holcomb (2000), che hanno dimostrato come sia necessaria un'elaborazione semantica post-lessicale per evocare effetti ERP di concretezza (si veda il paragrafo 5.1). Ricordiamo che questi autori si erano prefissi di determinare a quale punto del flusso di elaborazione cognitiva potessero emergere effetti di concretezza negli ERP e in che modo diversi tipi di operazioni cognitive potessero influenzare tali effetti. I partecipanti erano assegnati ad una di tre condizioni sperimentali e erano chiamati a risolvere un compito di giudizio di verità di frasi che richiedeva un processo di decisione semantica, la generazione di immagini mentali, oppure la valutazione di caratteristiche ortografiche. Le parole astratte e

quelle concrete producevano TR e risposte ERP simili nel compito ortografico, suggerendo che fosse necessaria un'elaborazione semantica post-lessicale per evocare gli effetti di concretezza. Dal momento che in generale non sono stati riscontrati effetti di concretezza nei compiti che non richiedono processi di elaborazione semantica post-lessicale (Schwanenflugel, 1991), nel compito di rilevamento della lettera target non ci aspettavamo differenze nell'andamento delle componenti ERP e nei tempi di risposta alle parole concrete e astratte. Inoltre ci aspettavamo TR più veloci nel compito ortografico rispetto al compito di decisione lessicale, considerando che i processi di decisione che richiedono un'elaborazione superficiale in genere sono più veloci rispetto a quelli che richiedono un'elaborazione semantica più profonda (Posner, 1969).

## **6.2 Metodo**

### **6.2.1 Partecipanti**

Hanno preso parte all'esperimento 17 studenti universitari italiani. Prima di partecipare allo studio, tutti hanno fornito il loro consenso informato scritto; inoltre tutti gli studenti hanno acquisito dei crediti per la loro collaborazione. I dati relativi a due partecipanti sono stati esclusi dalle analisi successive a causa di artefatti nella registrazione EEG. I rimanenti 15 (7 maschi e 8 femmine) erano tutti destrimani, d'età compresa fra 20 e 29 anni (M: 23; DS: 2.3), con vista normale o corretta con uso di occhiali, in buona salute e senza disturbi neurologici precedenti. La dominanza destra è stata accertata mediante la somministrazione della versione italiana (Salmaso & Longoni, 1985) del questionario *Edinburgh Inventory Questionnaire* (Oldfield, 1971) e di due prove pratiche sulla dominanza oculare. L'esperimento è stato condotto in accordo con gli standard etici (Helsinki, 1964).

### **6.2.2 Stimoli e Procedura**

Gli stimoli e la procedura erano gli stessi utilizzati per l'esperimento precedente, si rimanda pertanto al capitolo 5 per una descrizione dettagliata degli stessi.

Diversamente dall'esperimento precedente, il compito consisteva nel premere un tasto con il dito indice di una mano ogni volta che lo stimolo presentato conteneva la lettera suggerita dallo sperimentatore e ignorare gli stimoli che non contenevano la lettera target, indipendentemente dal fatto che si trattasse di parole esistenti o no. Prima dell'inizio di ogni sequenza lo sperimentatore suggeriva qual era la lettera target e la mano con cui rispondere, in modo che il volontario usasse alternativamente la mano destra e la mano sinistra. L'ordine di presentazione delle sequenze sperimentali e la mano con cui rispondere sono state controbilanciate fra i partecipanti.

La registrazione EEG è stata condotta utilizzando la stessa procedura descritta negli esperimenti precedenti.

### **6.2.3 Analisi dei dati**

Per ogni partecipante, sono stati esclusi dalle analisi statistiche i tempi di reazione che eccedevano la media di  $\pm 2$  deviazioni standard. I tempi di reazione medi e l'accuratezza, trasformata secondo la funzione arcoseno, sono stati analizzati mediante l'ANOVA per misure ripetute. Sono stati presi in considerazione i fattori di variabilità categoria linguistica (3 livelli: parole astratte, parole concrete, pseudoparole), mano usata per rispondere (2 livelli: destra e sinistra) e il fattore gruppo (2 livelli: compito di decisione lessicale e compito ortografico).

Le componenti ERP d'interesse sono state analizzate mediante l'ANOVA per misure ripetute sull'ampiezza media (*mean amplitude*) dell'onda. Sono stati presi in considerazione i fattori di variabilità categoria linguistica (3 livelli: parole astratte, parole concrete, pseudoparole), presenza del carattere target (2 livelli: target e non-target), elettrodo (diverso in funzione delle componenti ERP misurate) ed emisfero cerebrale (2 livelli: sinistro e destro). In particolare, è stata misurata l'ampiezza della componente N1 e della componente SN (*Selection Negativity* o negatività da selezione) sugli elettrodi PPO1, PPO2, PO9, PO10, rispettivamente in una finestra temporale compresa fra 180-220 ms e 230-330 ms. Inoltre è stata misurata l'ampiezza della componente LPN (*Lexical Processing Negativity* o negatività da elaborazione lessicale) sugli elettrodi AF3, AF4, AFp3h, AFp4h in una finestra temporale compresa fra 270 e 370 ms e l'ampiezza della componente P300 sugli elettrodi CP1, CP2, CPP1h, CPP2h in una finestra temporale compresa fra 400 e 600 ms. Sono stati applicati i post-hoc Tukey test per i confronti tra le medie.

## **6.3 Risultati**

### **6.3.1 Risultati comportamentali**

Per quanto concerne l'analisi dei tempi di reazione, sono stati messi a confronto i tempi di risposta dei soggetti che hanno svolto il compito di decisione lessicale e quelli dei soggetti che hanno svolto il compito ortografico. Quest'analisi ha confermato i risultati ottenuti nel contesto del terzo esperimento. Infatti, i partecipanti erano più veloci a rispondere con la mano destra piuttosto che con la mano sinistra ( $dx = 607$  ms,  $DS = 96.11$ ;  $sx = 621$  ms,  $DS = 96.23$ ), come testimoniato dall'effetto della mano ( $F_{1,28} = 14.99$ ;  $p < 0.001$ ). L'effetto della categoria linguistica ( $F_{2,56} = 41.89$ ;  $p < 0.001$ ), ha confermato che i partecipanti erano più veloci nel rispondere alle parole astratte e concrete piuttosto che alle pseudoparole ( $A = 604$

ms, DS = 88.96; C = 599 ms, DS = 88.52; PS = 638 ms, DS = 105.84). I confronti post-hoc hanno confermato a loro volta che tale effetto era di natura lessicale, dal momento che non è stata rilevata una differenza significativa fra i tempi di risposta alle parole astratte e concrete, mentre sia le parole astratte sia le parole concrete differivano in modo significativo ( $p < 0.001$ ) dalle pseudoparole. Quest'analisi ha consentito di aggiungere l'osservazione che esisteva una differenza significativa fra i tempi di risposta ai due compiti (DL = 667 ms, DS = 90.46; CO = 561 ms, DS = 69.56), come suggerito dall'effetto del gruppo ( $F_{1,28} = 14.21$ ;  $p < 0.001$ ). Inoltre, l'interazione "Categoria linguistica x Gruppo" ( $F_{2,56} = 5.25$ ;  $p < 0.01$ ) ha suggerito come l'effetto di superiorità delle parole fosse più marcato nel caso dei partecipanti impegnati nel compito di decisione lessicale ( $p < 0.001$ ; A = 656 ms, DS = 81.76; C = 645 ms, DS = 79.01; PS = 699 ms, DS = 100.91) piuttosto che nel compito ortografico ( $p < 0.005$ ; A = 552 ms, DS = 63.41; C = 553 ms, DS = 71.50; PS = 577 ms, DS = 69.82).

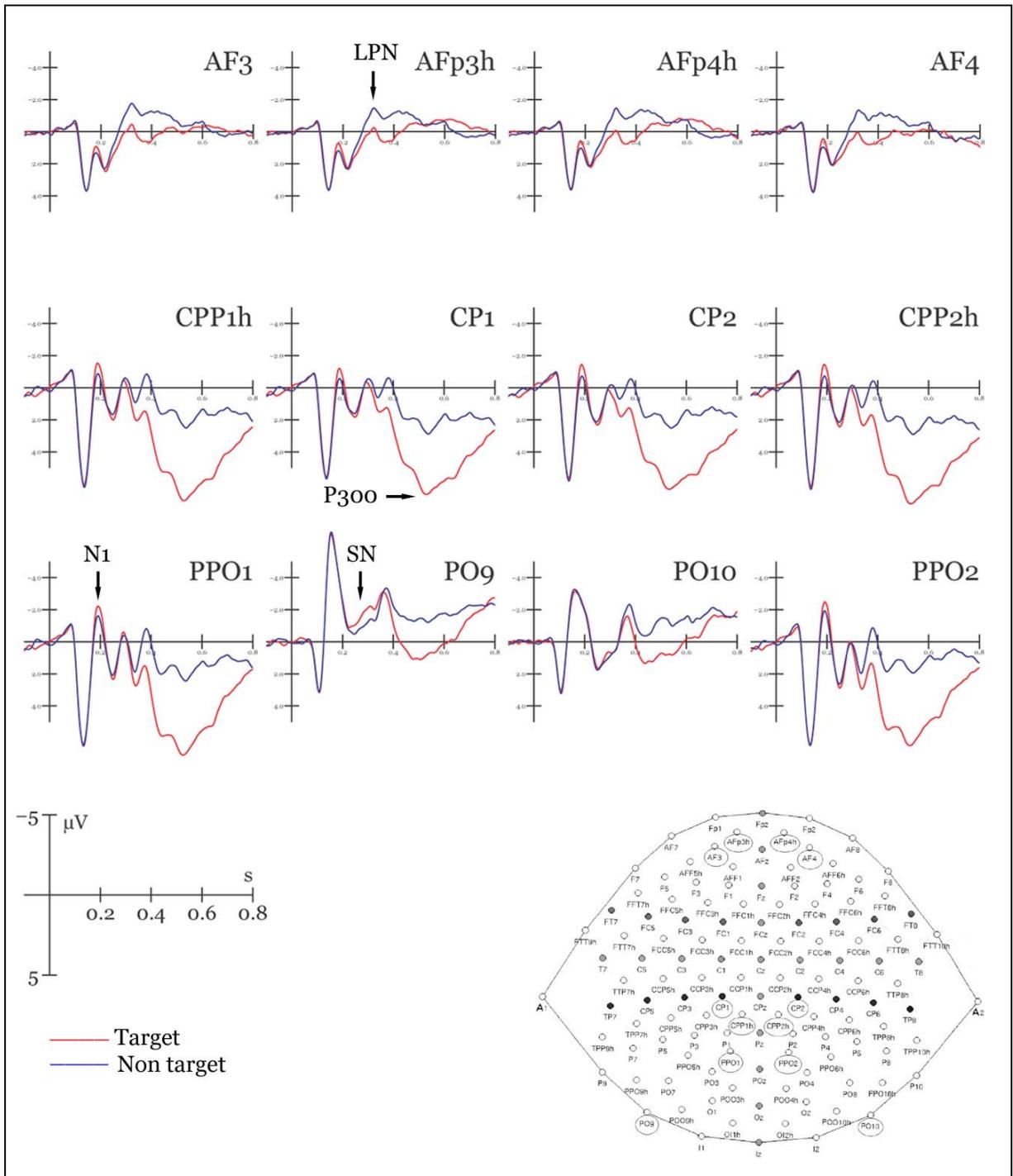
Sono state effettuate alcune analisi integrative sui dati comportamentali registrati nel contesto del compito ortografico. L'analisi degli effetti semplici in cui sono stati confrontati direttamente i tempi di risposta alle parole astratte e a quelle concrete ha provato che nel compito ortografico la differenza fra i tempi di risposta alle parole concrete e alle parole astratte non era significativa (si ricordi che nel contesto del compito di decisione lessicale questo confronto produceva un effetto significativo; si veda il paragrafo 5.3.1). Infine l'analisi dell'accuratezza non ha messo in evidenza alcun effetto, né per quanto riguarda i falsi allarmi né per quanto riguarda le omissioni.

### **6.3.2 Risultati elettrofisiologici**

La Figura 6.1 mostra le grandi medie ERP registrate in risposta agli stimoli target e agli stimoli non target e rappresenta un riassunto dei risultati descritti qui di seguito. L'analisi della componente P1, che raggiungeva la massima ampiezza sui siti occipitali intorno a 100 ms, non ha rivelato alcun effetto significativo delle categorie stimolo prese in esame in questo studio.

#### ***Componente N1 occipitale (180-220 ms)***

Questa componente raggiungeva la massima ampiezza sugli elettrodi occipitali mediali (PPO1, PPO2) e su quelli occipitali laterali (PO9, PO10). L'effetto della presenza del carattere target ( $F_{1,14} = 5.26$ ;  $p < 0.05$ ) ha suggerito come la risposta agli stimoli target fosse maggiore (più negativa) rispetto alla risposta agli stimoli non target ( $T = -2.26$ ;  $NT = -1.71 \mu V$ ). L'interazione "Presenza del carattere target x Elettrodo" ( $F_{1,14} = 9.74$ ;  $p < 0.01$ ) ha dimostrato che la differenza fra la risposta agli stimoli target e non target era significativa sugli elettrodi occipitali mediali (PPO1-PPO2,  $p < 0.001$ ) ma non sugli elettrodi occipitali laterali (PPO1-PPO2:  $T = -2.30$ ,  $NT = -1.41 \mu V$ ; PO9-PO10:  $T = -2.22$ ,  $NT = -2.01 \mu V$ ).



**Figura 6.1** Grandi medie ERP registrate in risposta agli stimoli target (linea rossa) e agli stimoli non target (linea blu).

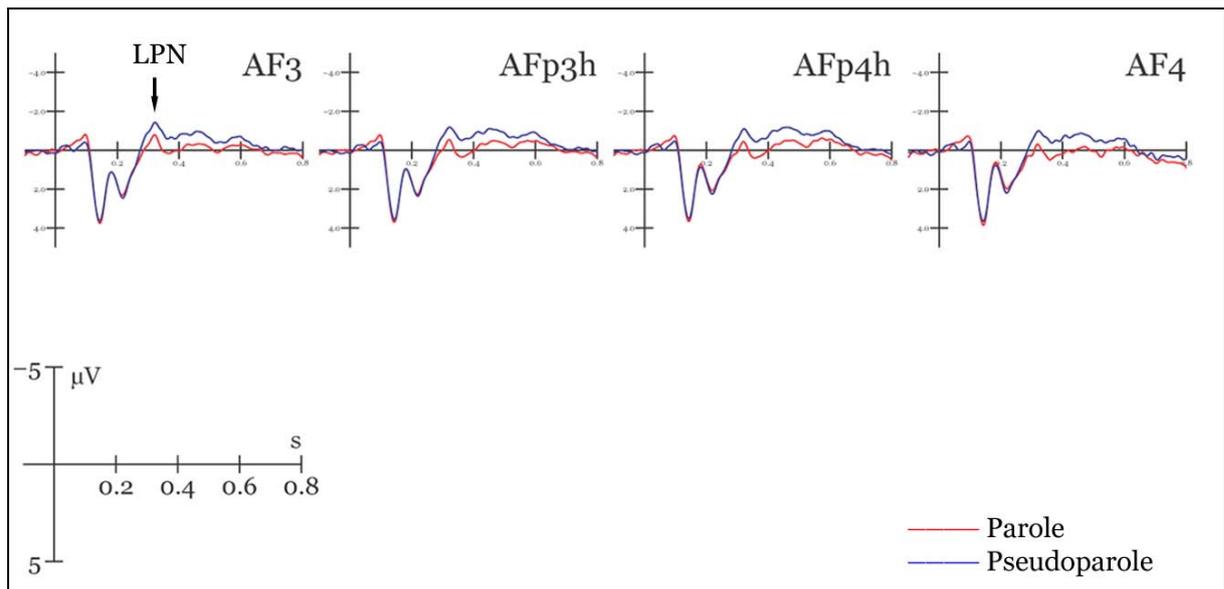
### ***Componente SN (Selection Negativity, 230-330 ms)***

Questa seconda componente raggiungeva la massima ampiezza sugli elettrodi occipitali mediali (PPO1, PPO2) e su quelli occipitali laterali (PO9, PO10). L'effetto dell'emisfero ( $F_{1,14} = 21.23$ ;  $p < 0.001$ ) ha dimostrato come la SN fosse più ampia (più negativa) sull'emisfero sinistro piuttosto che sull'emisfero destro ( $ES = -0.34$ ;  $ED = 1.00 \mu V$ ). L'interazione "Presenza del carattere target x Elettrodo" ( $F_{1,14} = 6.01$ ;  $p < 0.05$ ) ha suggerito che la differenza fra la risposta agli stimoli target e non target era significativa sugli elettrodi

occipitali laterali (PO9-PO10,  $p < 0.005$ ) ma non sugli elettrodi occipitali mediali (PPO1-PPO2:  $T = 0.64$ ,  $NT = 0.73 \mu V$ ; PO9-PO10:  $T = -0.29$ ,  $NT = 0.24 \mu V$ ). Inoltre l'interazione "Presenza del carattere target x Emisfero" ( $F_{1,14} = 5.60$ ;  $p < 0.05$ ) ha mostrato come la differenza fra la risposta agli stimoli target e non target fosse significativa sull'emisfero sinistro ( $p < 0.001$ ) ma non sull'emisfero destro (ES:  $T = -0.57$ ,  $NT = -0.11 \mu V$ ; ED:  $T = 0.91$ ,  $NT = 1 \mu V$ ). L'interazione "Elettrodo x Emisfero" ( $F_{1,14} = 21.81$ ;  $p < 0.001$ ) ha consentito di osservare che sugli elettrodi occipitali laterali (PO9-PO10) la risposta dell'emisfero sinistro era maggiore rispetto a quella dell'emisfero destro ( $p < 0.001$ ), mentre sugli elettrodi occipitali mediali non c'era differenza significativa fra la risposta dei due emisferi (PPO1-PPO2: ES =  $0.43$ , ED =  $0.93 \mu V$ ; PO9-PO10: ES =  $-1.12$ , ED =  $1.07 \mu V$ ). Infine l'interazione "Presenza del carattere target x Elettrodo x Emisfero" ( $F_{1,14} = 9.65$ ;  $p < 0.01$ ) ha consentito di aggiungere l'osservazione che sugli elettrodi occipitali laterali la differenza nella risposta agli stimoli target e non target risultava significativa sia sull'emisfero sinistro ( $p < 0.001$ ) sia sull'emisfero destro ( $p < 0.05$ ; ES:  $T = -1.52$ ,  $NT = -0.72 \mu V$ ; ED:  $T = 0.93$ ,  $NT = 1.20 \mu V$ ), mentre sugli elettrodi occipitali mediali tale differenza non raggiungeva la significatività statistica né sull'emisfero sinistro né sull'emisfero destro (ES:  $T = 0.37$ ,  $NT = 0.49 \mu V$ ; ED:  $T = 0.90$ ,  $NT = 0.97 \mu V$ ).

### ***Componente LPN (Lexical Processing Negativity, 230-330 ms)***

La componente LPN raggiungeva la massima ampiezza sugli elettrodi prefrontali (AF3, AF4, AFp3h, AFp4h). L'effetto della presenza del carattere target ( $F_{1,14} = 69.57$ ;  $p < 0.001$ ) ha dimostrato come la risposta agli stimoli non target fosse maggiore (più negativa) rispetto alla risposta agli stimoli target ( $T = 0.30$ ;  $NT = -0.95 \mu V$ ). L'effetto dell'emisfero ( $F_{1,14} = 6.47$ ;  $p < 0.05$ ) ha indicato una maggior attivazione dell'emisfero sinistro rispetto all'emisfero destro (ES =  $-0.44$ ; ED =  $-0.21 \mu V$ ). Inoltre, l'effetto della categoria linguistica ( $F_{2,28} = 5.81$ ;  $p < 0.01$ ), ha messo in evidenza un'attivazione maggiore in risposta alle parole concrete e alle parole astratte rispetto alle pseudoparole (A =  $-0.17$ ; C =  $-0.08$ ; PS =  $-0.73 \mu V$ ). I confronti post-hoc hanno suggerito che questo effetto fosse di natura lessicale, dal momento che è stata rilevata una differenza significativa fra l'elaborazione delle parole concrete e delle pseudoparole ( $p < 0.05$ ), fra l'elaborazione delle parole astratte e delle pseudoparole ( $p < 0.05$ ) e non fra l'elaborazione delle parole astratte e delle parole concrete (si veda la Figura 6.2). Infine, l'interazione "Elettrodo x Emisfero" ( $F_{1,14} = 11.50$ ;  $p < 0.005$ ) ha suggerito che sugli elettrodi AF3-AF4 la risposta dell'emisfero sinistro era maggiore rispetto a quella dell'emisfero destro ( $p < 0.001$ ), mentre sugli elettrodi AFp3h-AFp4h non c'era differenza significativa fra la risposta dell'emisfero sinistro e dell'emisfero destro (AF3-AF4: ES =  $-0.55$ , ED =  $-0.19 \mu V$ ; AFp3h-AFp4h: ES =  $-0.33$ , ED =  $-0.24 \mu V$ ).



**Figura 6.2** Grandi medie ERP registrate sugli elettrodi prefrontali in risposta alle parole (linea rossa) e alle pseudoparole (linea blu).

### ***Componente P300 (400-600 ms)***

Questa componente raggiungeva la massima ampiezza sugli elettrodi centro-parietali (CP1, CP2, CPP1h, CPP2h). L'effetto della presenza del carattere target ( $F_{1,14} = 28.36$ ;  $p < 0.001$ ) ha provato come la risposta agli stimoli target fosse maggiore rispetto alla risposta agli stimoli non target ( $T = 5.00$ ;  $NT = 1.47 \mu V$ ). L'effetto dell'elettrodo ( $F_{1,14} = 5.52$ ;  $p < 0.05$ ) ha suggerito come la P300 fosse più ampia sugli elettrodi CPP1h-CPP2h rispetto agli elettrodi CP1-CP2 ( $CPP1h-CPP2h = -3.35$ ;  $CP1-CP2 = 3.11 \mu V$ ). L'interazione "Presenza del carattere target x Elettrodo" ( $F_{1,14} = 28.36$ ;  $p < 0.001$ ) ha dimostrato come la differenza fra la risposta agli stimoli target e non target fosse significativa ( $p < 0.001$ ) sugli tutti gli elettrodi (CPP1h-CPP2h:  $T = 5.26$ ,  $NT = 1.45 \mu V$ ; CP1-CP2:  $T = 4.73$ ,  $NT = 1.49 \mu V$ ). Infine, l'interazione "Elettrodo x Emisfero" ( $F_{1,14} = 8.43$ ;  $p < 0.05$ ) ha suggerito che sull'emisfero destro la risposta registrata sugli elettrodi CPP1h-CPP2h era maggiore rispetto a quella registrata sugli elettrodi CP1-CP2 ( $p < 0.01$ ), mentre sull'emisfero sinistro la risposta registrata sulle due coppie di elettrodi non era significativamente diversa (CPP1h-CPP2h:  $ES = 3.20$ ,  $ED = 3.50 \mu V$ ; CP1-CP2:  $ES = 3.24$ ,  $ED = 2.98 \mu V$ ).

## **6.4 Discussione**

In accordo con i risultati degli esperimenti precedenti, l'analisi dei tempi di reazione ha confermato come anche nei soggetti impegnati nella risoluzione di un compito ortografico sia possibile riscontrare un effetto di superiorità delle parole, che si concretizza nell'osservazione che la lettera target era identificata più velocemente quando era presentata all'interno di una parola piuttosto che all'interno di una pseudoparola, sebbene tale effetto fosse più marcato nel contesto del compito di decisione lessicale. La ragione di quest'effetto risiede

probabilmente nel fatto che uno stimolo ortografico contraddistinto da un'entrata nel lessico facilita l'identificazione delle sue lettere costituenti (si veda il paragrafo 2.1). L'effetto di superiorità delle parole è considerato un'evidenza dell'esistenza di un'influenza top-down del lessico mentale sui processi di riconoscimento della forma visiva delle parole. Inoltre i TR erano più veloci nel contesto del compito ortografico piuttosto che del compito di decisione lessicale, in accordo con l'ipotesi che i processi di decisione che richiedono un'elaborazione superficiale sono più veloci rispetto a quelli che richiedono un'elaborazione semantica più profonda (Posner, 1969). L'ultima considerazione interessante riguarda il fatto che nel contesto del compito ortografico non è emersa alcuna differenza significativa fra le risposte alle parole concrete e alle parole astratte. Al contrario, nel caso dei partecipanti impegnati a risolvere il compito di decisione lessicale era stata riscontrata una differenza significativa fra le due categorie di stimoli (si veda il paragrafo 5.3.1).

In modo analogo ai tempi di risposta, i risultati elettrofisiologici non hanno messo in evidenza alcun effetto di concretezza nel contesto del compito ortografico, mentre nel contesto del compito di decisione lessicale erano stati riscontrati chiari effetti della concretezza delle parole. Considerando il fatto che gli stimoli presentati nelle due condizioni erano gli stessi, i nostri risultati sembrano supportare l'ipotesi che sia necessaria un'elaborazione semantica post-lessicale per evocare effetti di concretezza.

Passando a una descrizione più dettagliata delle componenti ERP analizzate, è interessante notare che a partire da 180 ms sui siti di registrazione occipitali è stata osservata una risposta discriminativa fra gli stimoli che contenevano la lettera target e gli stimoli non-target, che si concretizzava in una maggior negatività in risposta agli stimoli target. Quest'effetto modulava l'andamento della componente N2 (230-330 ms) registrata sulle regioni occipitali laterali dell'emisfero sinistro. La N2 risultava caratterizzata da una latenza e una distribuzione topografica analoga a quella della componente che negli studi sull'attenzione visiva è chiamata Negatività da Selezione o *Selection Negativity* (SN). È noto che gli stimoli target evocano una SN più ampia rispetto agli stimoli non-target. Dai dati della letteratura emerge che questa deflessione può essere attribuita ad un meccanismo di attenzione visiva selettiva, il quale evoca una componente negativa che ha origine nelle aree visive extrastriate (Hillyard & Anllo-Vento, 1998). Questo fenomeno è stato descritto per numerose caratteristiche visive e recentemente è stato descritto anche nel contesto della lettura di parole. Sia gli studi di neuroimmagine sia gli studi ERP hanno dimostrato che la ricerca visiva di una lettera attiva popolazioni neurali normalmente coinvolte nei processi di analisi ortografica. Ad esempio, Proverbio e collaboratori (2007) hanno registrato i potenziali evocati in risposta a parole presentate nell'orientamento standard o invertito durante la risoluzione di un compito ortografico. La componente N1 (135-215 ms) registrata sui siti occipitali laterali sinistri era più ampia in risposta alle lettere target rispetto a quelle non-target; in corrispondenza di questa componente la ricostruzione del generatore intracorticale tramite LORETA ha

suggerito un'attivazione del giro fusiforme (BA 37). In uno studio fMRI del 2004, Flowers e collaboratori hanno mostrato che la ricerca delle lettere era associata ad un incremento della BA 37 dell'emisfero sinistro, probabilmente in corrispondenza della VWFA. Alla luce di queste considerazioni, è possibile concludere che l'effetto della presenza del carattere target rifletta un processo di analisi e selezione ortografica e suggerisce che la ricerca visiva di una lettera target attivi popolazioni neurali normalmente deputate al riconoscimento delle lettere. La differenza nelle risposte ERP agli stimoli target e agli stimoli non-target è stata riscontrata anche sui siti di registrazione anteriori, nella latenza della componente LPN (si rimanda al paragrafo 3.4 per una descrizione delle proprietà funzionali di questa componente). Inoltre l'ampiezza della LPN risultava maggiore in risposta alle pseudoparole piuttosto che alle parole. Quest'effetto potrebbe essere concettualizzato come un processo di estrazione (recupero) delle rappresentazioni lessicali delle parole. L'andamento di questa componente sembra cioè suggerire che i partecipanti accedessero automaticamente al lessico, anche se non era richiesto per la risoluzione del compito ortografico. A questo proposito vogliamo ricordare uno studio condotto recentemente da Proverbio, Del Zotto e Zani (2006) con soggetti monolingui italiani e monolingui greci, che prevedeva un compito di identificazione di una lettera target appartenente all'alfabeto greco all'interno degli stimoli presentati, i quali potevano essere parole greche o pseudoparole che rispettavano l'ortografia specifica del greco. Nel caso dei soggetti greci, gli autori hanno registrato una componente LPN molto sensibile alla categoria lessicale, più ampia in risposta alle pseudoparole rispetto alle parole, dimostrando che i lettori fluenti accedono alle proprietà lessicali delle parole anche quando ciò non è rilevante per la risoluzione del compito. Lo stesso tipo di effetto è stato descritto nei due studi del nostro gruppo di ricerca citati nel paragrafo introduttivo di questo capitolo (Proverbio e coll., 2008; 2009).

L'ultima osservazione a proposito delle componenti ERP analizzate riguarda il fatto che gli stimoli target evocavano una componente P300 centro-parietale. La P300 è una componente normalmente registrata in un compito di rilevamento del target, la cui ampiezza varia in funzione della probabilità soggettiva e della rilevanza dello stimolo target; è stata messa in relazione diretta con meccanismi di aggiornamento contestuale (*contextual updating*, Johnson, 1986; Donchin, 1987).

Nel complesso i risultati del nostro esperimento sembrano escludere la possibilità che la natura del compito abbia ritardato la comparsa dell'effetto di superiorità delle parole sulle regioni occipito-temporali dell'emisfero sinistro nei primi due esperimenti condotti per il progetto di tesi. Sia gli indici elettrofisiologici sia i tempi di reazione sembrano testimoniare che si siano attuati processi di elaborazione più superficiali e che tali processi si siano consumati in modo più veloce rispetto ai processi implicati nella risoluzione di un compito che richiede un'elaborazione più profonda degli stimoli (Posner, 1969). Infatti gli effetti riscontrati nell'andamento delle componenti posteriori erano più precoci rispetto a quelli

descritti nel contesto del compito di decisione lessicale, ma erano di natura ortografica (discriminazione fra lettere target e non-target) piuttosto che lessicale (discriminazione fra parole e non-parole). Solo la componente LPN esibiva un effetto di superiorità delle parole, in una finestra temporale (230-330 ms) paragonabile a quella descritta nel contesto del primo esperimento presentato in questo lavoro (200-340 ms). Ricordiamo che nel primo esperimento è stata registrata una negatività maggiore in risposta alle pseudoparole non derivate intorno a 200-250 ms sulle regioni fronto-centrali. Nella finestra temporale successiva, intorno a 250-340 ms le regioni frontali anteriori mostravano un gradiente lessicale che assumeva la forma di una LPN, molto sensibile alle proprietà lessicali delle parole e al numero di vicini ortografici.

In ultimo vorremmo sottolineare come nell'ambito della letteratura neuroscientifica sul linguaggio siano stati ampiamente studiati gli stadi di elaborazione di crescente complessità, ovvero i processi di tipo bottom-up, a fronte di una scarsa attenzione verso i meccanismi attraverso cui i livelli di elaborazione più alti influenzano i livelli bassi, ovvero i processi top-down. Per questa ragione non è banale sottolineare che l'andamento della componente LPN testimonia come a partire da 230 ms dalla presentazione dello stimolo l'accesso automatico alla rappresentazione lessicale influenzi i processi di identificazione delle lettere, facilitando la risoluzione del compito di rilevamento della lettera target quando quest'ultima è presentata all'interno di una parola (come dimostrato dai risultati comportamentali). Quest'osservazione rappresenta una prova a favore dei modelli di lettura che prevedono, accanto a processi di tipo bottom-up, l'esistenza di feedback d'informazione da una rappresentazione di alto livello ad un livello più basso d'elaborazione, ovvero processi di tipo *top-down* (*Interactive Activation Model*, McClelland & Rumelhart, 1981; *Dual-Route Cascade Model*, Coltheart e coll., 1994; si veda il paragrafo 2.1 per una descrizione di questi modelli).

## 7 Conclusioni

Inizieremo quest'ultima sezione facendo un breve riassunto dei principali risultati del progetto di tesi. Ricordiamo che lo scopo principale del primo esperimento era l'indagine dei meccanismi cognitivi e neurali sottostanti all'elaborazione di parole e non-parole che differivano per il numero di vicini ortografici o per la legalità ortografica. In generale, i risultati del primo esperimento hanno suggerito come le proprietà ortografiche, fonologiche e lessicali degli stimoli linguistici siano elaborate in parallelo in una finestra temporale compresa fra 200 e 400 ms dopo la presentazione dello stimolo. In particolare è emersa l'esistenza di un effetto precoce (250-350 ms) della legalità ortografica sui siti di registrazione temporo-parietali; questo potenziale potrebbe suggerire l'esistenza di una difficoltà di accesso alla forma fonologica delle stringhe illegali e potrebbe corrispondere ai generatori intracorticali responsabili dell'associazione fra le rappresentazioni ortografiche e fonologiche. L'esame delle componenti anteriori ha suggerito l'esistenza di un'analisi dinamica delle proprietà psicolinguistiche degli stimoli. Inizialmente (da 200-250 ms dopo la presentazione dello stimolo) si osservava una risposta discriminativa fra le pseudoparole non derivate da parole esistenti e gli stimoli più simili a delle parole esistenti; progressivamente le pseudoparole simili a parole esistenti erano assimilate alle pseudoparole non derivate, finché intorno ai 340-400 ms le proprietà dello stimolo analizzate sembravano corrispondere alla rappresentazione lessicale delle parole. Quest'effetto potrebbe essere concettualizzato come un processo di estrazione (recupero) delle informazioni lessicali delle parole e potrebbe riflettere l'attivazione lessicale globale di ciascun item. Nella stessa finestra temporale (300-400 ms), la regione occipito-temporale dell'emisfero sinistro (BA 19 e BA 37) mostrava un incremento della risposta alle parole e un gradiente di attivazione in risposta alle pseudoparole con diverso numero di vicini ortografici; quest'effetto potrebbe deporre a favore dell'ipotesi che esista un lessico visivo di input, che immagazzinerebbe la forma visiva delle parole conosciute, consentendo un accesso diretto al lessico tramite una via visiva e mostrando effetti precoci della familiarità delle parole.

Nel secondo esperimento, finalizzato all'indagine dei meccanismi neurali associati all'elaborazione di parole appartenenti a diverse categorie semantiche (nomi di animali e di vegetali), è stato riscontrato un effetto precoce (170-220 ms) sulle regioni occipito-temporali dell'emisfero sinistro (BA 37 e BA 20), oltre a effetti più tardivi nella latenza della componente N400 centro-parietale, P300 posteriore e LP anteriore. Nel complesso queste analisi hanno suggerito che fosse più facile accedere alle proprietà lessicali dei nomi di animali, probabilmente a causa della loro rilevanza biologica. I risultati sono stati discussi anche alla luce dell'ipotesi che l'età di acquisizione delle parole possa aver giocato un ruolo significativo nei processi di accesso alle proprietà lessicali degli stimoli appartenenti alle due categorie. Nel terzo esperimento ci siamo occupati di testare l'ipotesi che le conoscenze

concettuali relative alle entità concrete siano almeno in parte immagazzinate in termini di conoscenza percettiva basata sui sensi oltre che in termini di conoscenze strettamente linguistiche valutando gli effetti del grado di concretezza delle parole sull'attivazione cerebrale. In accordo con i risultati del primo esperimento, le parole erano discriminate dalle pseudoparole a partire da 300 ms dalla comparsa dello stimolo sulle regioni occipito-temporali dell'emisfero sinistro, in particolare nella BA 37. Inoltre è stato riscontrato un effetto di concretezza a partire da 350 ms dalla presentazione dello stimolo, con risposte ERP più ampie alle parole concrete rispetto a quelle astratte sulle regioni occipitali mediali, oltre che un effetto più tardivo nella latenza della componente LP anteriore. In generale, sulla base dell'andamento delle componenti ERP, della distribuzione di voltaggio sullo scalpo e della ricostruzione del generatore intracorticale tramite LORETA, sembra possibile affermare che le parole astratte e le parole concrete attivino circuiti neurali comuni e che l'elaborazione di queste due classi di parole differisca in termini di un maggior coinvolgimento delle aree visive extrastriate nei processi di elaborazione delle parole concrete, a fronte di un maggior coinvolgimento della corteccia prefrontale nei processi di elaborazione delle parole astratte. Il confronto con i risultati dell'esperimento precedente sembra suggerire che le regioni cerebrali coinvolte nei processi di accesso automatico alle informazioni semantiche che consentono la discriminazione categoriale e alle informazioni visive non siano sovrapponibili. Il quarto esperimento è stato condotto usando gli stessi stimoli del terzo esperimento, ma chiedendo ai partecipanti di risolvere un compito ortografico, allo scopo di verificare se la natura del compito usato negli esperimenti precedenti potesse aver influito sulla latenza dell'effetto lessicale riscontrato sulle regioni occipito-temporali dell'emisfero sinistro. I risultati ERP sembrano escludere questa possibilità. Sia gli indici elettrofisiologici sia i tempi di reazione sembrano testimoniare che si siano attuati processi di elaborazione più superficiali e che tali processi si siano consumati in modo più veloce rispetto ai processi implicati nella risoluzione di un compito che richiede un'elaborazione più profonda degli stimoli. Infatti, gli effetti riscontrati nell'andamento delle componenti occipito-temporali erano più precoci (180 ms) rispetto a quelli descritti nel terzo esperimento ed erano di natura ortografica piuttosto che lessicale. Solo la componente LPN esibiva un effetto di superiorità delle parole, in una finestra temporale (230-330 ms) paragonabile a quella descritta nel primo esperimento (200-340 ms). I tempi di risposta e i risultati elettrofisiologici non hanno mostrato alcun effetto di concretezza, suggerendo che sia necessaria un'elaborazione semantica post-lessicale per evocare tali effetti.

Prima di concludere la nostra presentazione, vorremmo focalizzare l'attenzione su alcuni aspetti generali che rappresentano il fulcro di questo lavoro. I nostri risultati suggeriscono che le proprietà ortografiche, fonologiche e lessico-semantiche delle parole presentate visivamente siano elaborate in parallelo in una finestra temporale compresa fra 200 e 400 ms dalla presentazione dello stimolo. La regione temporo-parietale ha dimostrato una sensibilità

alla legalità ortografica, pertanto sembra ragionevole ipotizzare che questa regione sia coinvolta nei processi di associazione delle rappresentazioni ortografiche e fonologiche. La ricostruzione del generatore intracorticale tramite LORETA ha suggerito un'attivazione del giro angolare dell'emisfero sinistro, una regione che secondo i dati rintracciabili in letteratura potrebbe mediare il processo di traduzione del codice motorio trasmesso dall'area di Broca in un codice fonologico, come parte del processo di conversione grafema-fonema che caratterizza la via di lettura fonologica. La regione occipito-temporale dell'emisfero sinistro ha dimostrato una sensibilità alla familiarità delle parole intese come oggetti visivi unitari. L'attivazione della BA 19 in risposta a stringhe di lettere legali dal punto di vista ortografico e visivamente simili a parole esistenti, unitamente ad un'attivazione più rostrale lungo la via ventrale (BA 37 e BA 20) in risposta alle parole dotate di significato, depone a favore dell'ipotesi che esista un lessico visivo di input, che immagazzinerebbe la forma visiva delle parole conosciute, consentendo un accesso diretto al lessico tramite una via visiva. Detto in altri termini, la regione occipito-temporale dell'emisfero sinistro potrebbe ragionevolmente corrispondere al lessico ortografico di input del modello DRC, mentre la parte più caudale della corteccia occipito-temporale (BA 19) potrebbe essere sensibile alle proprietà sub-lessicali delle stringhe linguistiche e potrebbe corrispondere alla regione cerebrale che la letteratura di neuroimmagine identifica come VWFA. Quest'area potrebbe rappresentare la sede del meccanismo responsabile del riconoscimento delle parole che si basa su un processo d'integrazione delle lettere in una rappresentazione visiva astratta. L'emergere di una risposta ERP discriminativa fra parole appartenenti a diverse categorie semantiche potrebbe essere interpretata con la nozione che solo le parole esistenti sono in grado di attivare una regione della via ventrale che risponde a oggetti complessi ed è cruciale per il recupero dei nomi di entità viventi (nel nostro caso, nomi di animali e di vegetali). Infine, l'osservazione di un maggior coinvolgimento delle aree visive extrastriate della corteccia occipitale nei processi di elaborazione delle parole concrete sembra suggerire che, in virtù del loro alto valore d'immagine, esse possano attivare un maggior numero di associazioni percettive/visive rispetto alle parole astratte. Le conoscenze concettuali relative alle entità concrete potrebbero essere, almeno in parte, immagazzinate in termini di conoscenza percettiva basata sui sensi e tali conoscenze potrebbero essere attivate in modo automatico durante i processi di riconoscimento delle parole stesse. I nostri risultati sembrano in linea con il principio che le regioni cerebrali coinvolte nei processi di elaborazione semantica delle parole siano spazialmente prossime alle regioni cerebrali caratterizzate da forti associazioni sensoriali con la categoria concettuale in questione.

In generale, i risultati dei nostri esperimenti suggeriscono come la registrazione dei potenziali evocati consenta di dissociare i processi di elaborazione ortografico-lessicale da processi di più alto livello. L'elaborazione semantica potrebbe avvenire a stadi di elaborazione sorprendentemente precoci, quasi simultaneamente e in regioni cerebrali

distinte da quelle coinvolte nei processi di elaborazione relativi alla forma visiva e alle proprietà lessicali delle parole. In questo senso, i nostri risultati rappresentano una prova a favore dei modelli di lettura che prevedono, accanto a processi di tipo bottom-up, l'esistenza di feedback d'informazione da una rappresentazione di alto livello a un livello più basso d'elaborazione, o in altre parole processi di tipo *top-down*.

## **Parole chiave**

ERP; LORETA; VWFA; decisione lessicale; categorie semantiche; effetto di concretezza

## Stimoli usati per l'esperimento 1

Di seguito è riportato l'elenco degli stimoli creati per il primo esperimento. È indicata la categoria (P = parole; PsD = pseudoparole derivate; PsND = pseudoparole non derivate; S = stringhe), la lunghezza in numero di lettere (L) e la frequenza d'uso (FU), espressa in termini di frequenza assoluta, delle parole esistenti e delle parole dalle quali sono state create le pseudoparole derivate.

<b>P</b>	<b>L</b>	<b>FU</b>	<b>PsD</b>	<b>L</b>	<b>FU</b>	<b>PsND</b>	<b>L</b>	<b>FU</b>	<b>S</b>	<b>L</b>	<b>FU</b>
ACCIUGA	7	11	AGNELTO	7	20	ACLO	4	/	ACPFGE	6	/
AGLIO	5	49	AIROVE	6	14	AQUIRDA	7	/	ADFQRPIC	8	/
ALCE	4	1	ANTUILLA	8	6	ASMOLDO	7	/	ADNTSI	6	/
ALLODOLA	8	3	ARIETA	6	3	BIEROMMA	8	/	ADTNBE	6	/
ANANAS	6	15	AZALOA	6	1	BIGASTE	7	/	ADTSRO	6	/
ANATRA	6	5	BAGILICO	8	23	BILCIRA	7	/	AEMSLT	6	/
AQUILA	6	30	BARANA	6	15	BLOMA	5	/	AETPFITD	8	/
ARAGOSTA	8	6	BETULTA	7	15	BOLTRA	6	/	AFSCDO	6	/
ARANCIA	7	34	CAMMELCO	8	12	BOSFAO	6	/	AGSNZ	5	/
ASINO	5	12	CANAMINO	8	2	BUDALIO	7	/	AIBD	4	/
BACO	4	5	CANGUDO	7	6	CAFORPEO	8	/	AIGNT	5	/
BIETOLA	7	2	CARMIOFO	8	6	CAVUSORA	8	/	ALNNUM	6	/
BISONTE	7	3	CASPERO	7	1	CHISFEA	7	/	ALNTDGOU	8	/
BUFALO	6	4	CAVALTO	7	179	CIFIO	5	/	AOPDFLLO	8	/
CALAMARO	8	4	CEFRO	5	3	CILTOGRA	8	/	AUEGFPO	7	/
CANAPA	6	1	CEGNO	5	10	CINOMASA	8	/	BDMAEPS	7	/
CANE	4	172	CERFO	5	9	CUTO	4	/	BDOVDTAE	8	/
CAPRA	5	28	CETRIOVO	8	4	CUTRA	5	/	BFACLUO	7	/
CAROTA	6	21	CICOLA	6	7	DACRO	5	/	BLDOIV	6	/
CAVOLO	6	15	CIMIEGIA	8	2	DERLIFA	7	/	BMAS	4	/
CERNIA	6	1	CIROGNA	7	13	DILOCFE	8	/	CRFE	4	/
COCOMERO	8	5	CITRESSO	8	1	DOFAGO	6	/	CTITM	5	/
CORVO	5	9	COLEMBA	7	110	DOGNEO	6	/	DBIMFO	6	/
CRICETO	7	1	CONAGLIO	8	22	DOLUBRA	7	/	DCETB	5	/
DATTERO	7	1	DALENA	6	26	DONTAO	6	/	DLRO	4	/
DELFINO	7	23	DASTAGNA	8	33	DRUFE	5	/	DMOGT	5	/
EDERA	5	24	DERLO	5	13	DUMIUTO	7	/	DSIPOCG	7	/
ELEFANTE	8	36	DOZZA	5	7	ECAO	4	/	DSSAGMTI	8	/
FARFALLA	8	25	ERFA	4	125	EDIOMBE	7	/	DTANERF	7	/
FICO	4	11	FAGIAGO	7	4	EGLO	4	/	DTPi	4	/
FOCA	4	5	FIGGIO	6	6	EGOTO	5	/	DVAB	4	/
FORMICA	7	24	FIPOLLA	7	49	ELGRO	5	/	EAOGMRFI	8	/
FRAGOLA	7	6	FRUCO	5	1	FEISCOMA	8	/	EBDUCTUO	8	/
FUNGO	5	5	GALTINA	7	21	FEPITIRO	8	/	EGDOZPE	7	/
GALLO	5	53	GANEPRO	7	10	FERIDUSO	8	/	EITNMBAI	8	/
GAMBERO	7	9	GASBIANO	8	39	FRAO	4	/	ETGCBI	6	/
GARDENIA	8	8	GEGLIO	6	2	GARIRO	6	/	FEOPV	5	/
GAROFANO	8	24	GHIPO	5	3	GEFIA	5	/	FFENB	5	/
GATTO	5	121	GIATUARO	8	2	GIOTRELO	8	/	FGHUQA	6	/
GAZZA	5	8	GIRTILLO	8	4	GROLITUO	8	/	FPCOT	5	/
GERANIO	7	12	GIRUFFA	7	3	IFENGA	6	/	FTEGC	5	/
GIRASOLE	8	4	GORULLA	7	19	IGAPA	5	/	GFNIOUPL	8	/
GLICINE	7	3	GRELLO	6	21	INOCUTRO	8	/	GNBU	4	/
GRANO	5	28	GRUNCHIO	8	3	IRGRO	5	/	HIGIALZT	8	/
IGUANA	6	3	GUFE	4	5	IRUA	4	/	HMZAILP	7	/
LAMA	4	52	IEMA	4	1	LEPIO	5	/	HRET	4	/
LATTUGA	7	8	ILLORO	6	21	LIOFEZA	7	/	HSGMO	5	/
LIMONE	6	93	ISTRACE	7	2	LOPEMBA	7	/	IACCMV	6	/
LUCCIOLA	8	5	LAMPONO	7	3	LUESTE	6	/	IAGTZS	6	/
LUPO	4	75	LAONE	5	118	MIFRUA	6	/	ICBRTEO	7	/
MAGNOLIA	8	1	LEOGARDO	8	10	MINVACO	7	/	ICGSLOUM	8	/
MANDORLA	8	6	LUSACA	6	8	MIRPASCA	8	/	IDBAT	5	/
MARMOTTA	8	2	MAIACE	6	32	MOCRORA	7	/	ILNRU	5	/
MERLUZZO	8	10	MALONE	6	7	MOFEGRO	7	/	IMVP	4	/
MORA	4	22	MARTUFO	7	16	NIASTO	6	/	IOPZOML	7	/
MUCCA	5	4	MEBUSA	6	4	NIOSCEA	7	/	IRLQT	5	/
ORCA	4	2	MIMOCA	6	4	OLNE	4	/	ITDUZ	5	/
ORIGANO	7	2	MINTA	5	33	OSTOGE	6	/	LGOORBU	7	/
ORTICA	6	4	MOCE	4	36	PEMBA	5	/	LUAOBGD	7	/
OSTRICA	7	4	MOSTA	5	209	QUIRA	5	/	MEUIFDLT	8	/

<b>P</b>	<b>L</b>	<b>FU</b>	<b>PsD</b>	<b>L</b>	<b>FU</b>	<b>PsND</b>	<b>L</b>	<b>FU</b>	<b>S</b>	<b>L</b>	<b>FU</b>
PALMA	5	38	MUSCHIA	7	7	QUISDA	6	/	MNEAADP	7	/
PANDA	5	34	NAGIOLO	7	5	RALI	4	/	MNTISVRE	8	/
PAPAIA	6	1	NELA	4	40	RASBIO	6	/	MOEGTRI	7	/
PAPAVERO	8	4	NEPRE	5	11	RASCELPA	8	/	MUDCV	5	/
PECORA	6	33	NOCCIOMO	8	6	REANILDO	8	/	MZEBPE	6	/
PESCA	5	107	NULO	4	7	RELD	5	/	NGCOFTI	7	/
PESCE	5	185	ORADA	5	6	ROFOSEDO	8	/	NGGITV	6	/
PIGNA	5	3	PADATA	6	25	RONAGO	6	/	NMBITFO	7	/
PINO	4	46	PANTEBA	7	17	ROPUA	5	/	OATPCO	6	/
PIOVRA	6	13	PAVOBE	6	14	RUDUMIPA	8	/	OIPRDFE	7	/
POLLO	5	26	PINORO	6	1	RUEDA	5	/	OULV	4	/
POMODORO	8	46	PIOSPO	6	1	SBEGI	5	/	PGCA	4	/
POMPELMO	8	1	PIRA	4	25	SBIRVA	6	/	PQTAA	5	/
PRIMULA	7	14	PISELTO	7	3	SDAO	4	/	PSESV	5	/
QUERCIA	7	67	PULTE	5	7	SFAPO	5	/	QMCE	4	/
RAMO	4	37	PUNA	4	2	SIRULAPO	8	/	RBEE	4	/
RANA	4	15	RAGNA	5	25	SMIDESO	7	/	RGPBLO	6	/
RENNA	5	1	REPA	4	1	STEMOA	6	/	RLALIB	6	/
RICCIO	6	8	SCIMBIA	7	23	STRIRBO	7	/	RSEIATBN	8	/
RISO	4	110	SEMO	4	36	STUNUCIA	8	/	RSIPDA	6	/
RONDINE	7	4	SERPENVE	8	27	TANDIA	6	/	RTDISSU	7	/
ROSA	4	1	SEPIA	6	2	TAPONDA	7	/	SEIFTUGP	8	/
ROSP	5	10	SIVETTA	7	4	TARGIO	6	/	SFBDATSO	8	/
RUCOLA	6	3	STRURZO	7	9	TERSUCO	7	/	SMECDIG	7	/
SALICE	6	7	TAGRE	5	29	TINOMUA	7	/	SSLOE	5	/
SALMONE	7	20	TAINO	5	4	TOCALEMO	8	/	SVFIZB	6	/
SALVIA	6	24	TAPRIOLO	8	5	TOLURO	6	/	SZFO	4	/
SEDANO	6	15	TILIPANO	8	4	TOQUA	5	/	TBOUAIGF	8	/
SOGLIOLA	8	5	TORE	4	93	TRISSO	6	/	TODFPA	6	/
SQUALO	6	7	TRUGNA	6	5	TRUSPEGA	8	/	TSBEFD	6	/
TACCHINO	8	12	TUPO	4	33	UPECA	5	/	TSGNE	5	/
TALPA	5	7	ULIVE	5	4	UQUO	4	/	TSIEACFR	8	/
TARLO	5	7	ULMO	4	1	USPO	4	/	TZEBI	5	/
TONNO	5	18	URSO	4	53	VIMAFO	6	/	UABPCIEP	8	/
TROTA	5	12	VANZARA	7	9	VUMIORA	7	/	UBRDD	5	/
USIGNOLO	8	3	VILPE	5	19	VUZO	4	/	UICSBSO	7	/
VITE	4	95	VINGUINO	8	5	ZABO	4	/	UODP	4	/
VONGOLA	7	6	VIORA	5	71	ZIALMO	6	/	VDATUILF	8	/
ZEBRA	5	2	ZERZA	5	1	ZIRA	4	/	VUBFIGR	7	/
ZUCCHINA	8	4	ZUSCA	5	27	ZIRSA	5	/	ZBIETCP	7	/

## Stimoli usati per l'esperimento 2

Di seguito è riportato l'elenco delle parole usate per l'analisi delle categorie semantiche (nomi di animali e nomi di vegetali). Oltre alla lunghezza in numero di lettere (L) e la frequenza d'uso (FU), sono riportati i punteggi di familiarità media (Fam\_media) e valore d'immagine medio (Imm\_media) di ciascuna parola, espressi su una scala a 5 punti.

<b>Animali</b>	<b>L</b>	<b>FU</b>	<b>Fam_media</b>	<b>Imm_media</b>	<b>Vegetali</b>	<b>L</b>	<b>FU</b>	<b>Fam_media</b>	<b>Imm_media</b>
ACCIUGA	7	11	4,20	3,87	AGLIO	5	49	4,50	4,60
ALCE	4	1	2,93	3,17	ANANAS	6	15	4,33	4,83
ALLODOLA	8	3	2,77	1,87	ARANCIA	7	34	4,87	4,90
ANATRA	6	5	3,97	4,40	BIETOLA	7	2	3,03	2,63
AQUILA	6	30	3,83	4,30	CANAPA	6	1	3,03	2,27
ARAGOSTA	8	6	3,80	4,13	CAROTA	6	21	4,77	4,87
ASINO	5	12	4,50	4,73	CAVOLO	6	15	4,53	4,17
BACO	4	5	2,97	2,73	COCOMERO	8	5	3,73	4,60
BISONTE	7	3	3,30	3,20	DATTERO	7	1	3,43	4,00
BUFALO	6	4	3,20	3,47	EDERA	5	24	3,73	3,97
CALAMARO	8	4	4,07	3,70	FICO	4	11	4,27	4,67
CANE	4	172	4,90	4,90	FRAGOLA	7	6	4,77	4,97
CAPRA	5	28	4,17	4,40	FUNGO	5	5	4,47	4,93
CERNIA	6	1	3,30	2,10	GARDENIA	8	8	3,27	2,50
CORVO	5	9	3,83	4,33	GAROFANO	8	24	3,60	3,30
CRICETO	7	1	3,97	4,43	GERANIO	7	12	3,97	3,87
DELFINO	7	23	4,00	4,77	GIRASOLE	8	4	4,27	4,90
ELEFANTE	8	36	4,27	4,87	GLICINE	7	3	2,93	2,43
FARFALLA	8	25	4,40	4,93	GRANO	5	28	4,13	4,40
FOCA	4	5	3,77	4,57	LATTUGA	7	8	4,53	4,20
FORMICA	7	24	4,53	4,90	LIMONE	6	93	4,83	4,93
GALLO	5	53	4,20	4,73	MAGNOLIA	8	1	3,13	2,73
GAMBERO	7	9	4,10	4,10	MANDORLA	8	6	4,20	4,37
GATTO	5	121	4,90	5,00	MORA	4	22	3,90	4,23
GAZZA	5	8	3,10	2,63	ORIGANO	7	2	4,27	3,97
IGUANA	6	3	3,00	3,27	ORTICA	6	4	3,60	3,07
LAMA	4	52	3,60	4,03	PALMA	5	38	3,60	4,60
LUCCIOLA	8	5	3,63	3,57	PAPAIA	6	1	2,93	2,53
LUPO	4	75	4,20	4,47	PAPAVERO	8	4	3,67	4,13
MARMOTTA	8	2	3,33	3,23	PESCA	5	107	4,73	4,70
MERLUZZO	8	10	4,00	2,77	PIGNA	5	3	3,70	4,83
MUCCA	5	4	4,60	4,93	PINO	4	46	4,37	4,83
ORCA	4	2	3,57	3,60	POMODORO	8	46	4,87	4,97
OSTRICA	7	4	3,50	3,87	POMPELMO	8	1	4,30	4,37
PANDA	5	34	3,80	4,43	PRIMULA	7	14	3,47	3,20
PECORA	6	33	4,40	4,77	QUERCIA	7	67	3,60	3,90
PESCE	5	185	4,77	4,67	RAMO	4	37	4,53	4,77
PIOVRA	6	13	3,63	3,70	RISO	4	110	4,93	4,63
POLLO	5	26	4,63	4,60	ROSA	4	1	4,77	4,93
RANA	4	15	4,30	4,80	RUCOLA	6	3	4,33	4,17
RENNA	5	1	3,70	4,37	SALICE	6	7	3,37	3,90
RICCIO	6	8	3,80	4,60	SALVIA	6	24	4,27	4,37
RONDINE	7	4	4,00	4,57	SEDANO	6	15	4,17	4,50
ROSCO	5	10	3,97	4,07	VITE	4	95	4,07	4,07
SALMONE	7	20	4,47	3,27	ZUCCHINA	8	4	4,70	4,87
SOGLIOLA	8	5	4,20	3,30					
SQUALO	6	7	4,20	4,53					
TACCHINO	8	12	4,23	3,83					
TALPA	5	7	3,77	3,53					
TARLO	5	7	3,17	1,60					
TONNO	5	18	4,70	3,70					
TROTA	5	12	4,20	3,83					
USIGNOLO	8	3	3,47	2,90					
VONGOLA	7	6	3,93	4,40					
ZEBRA	5	2	3,70	4,73					

## Stimoli usati per gli esperimenti 3 e 4

Di seguito è riportato l'elenco degli stimoli creati per il terzo e il quarto esperimento. È indicata la categoria (parole astratte, parole concrete, pseudoparole), la lunghezza in numero di lettere (L) e la frequenza d'uso (FU) delle parole. Inoltre sono riportati i punteggi di concretezza media (Conc), valore d'immagine medio (Imm) e familiarità media (Fam) di ciascuna parola. Come per gli esperimenti precedenti, la frequenza d'uso è espressa in termini di frequenza assoluta; i valori ottenuti mediante la somministrazione dei questionari sono espressi su una scala a 5 punti.

<b>Astratte</b>	<b>L</b>	<b>FU</b>	<b>Conc</b>	<b>Imm</b>	<b>Fam</b>	<b>Concrete</b>	<b>L</b>	<b>FU</b>	<b>Conc</b>	<b>Imm</b>	<b>Fam</b>
ABITUDINE	9	195	2,00	2,73	4,85	ABITACOLO	9	30	4,57	4,42	4,48
ADESIONE	8	73	2,57	2,62	4,58	ACCIUGA	7	23	4,96	4,65	4,67
AGONISMO	8	6	2,32	3,38	4,64	AGENDA	6	39	4,75	4,88	4,79
ALTITUDINE	10	11	3,43	3,46	4,61	AGNELLO	7	27	4,89	4,58	4,61
AMBITO	6	48	2,04	1,92	4,64	ALLODOLA	8	7	4,82	3,50	4,06
ANALOGIA	8	23	1,79	2,08	4,55	ALLORO	6	31	4,86	4,31	4,58
ANOMALIA	8	17	2,64	2,58	4,64	ALTARE	6	49	4,68	4,58	4,67
ANTEPRIMA	9	24	3,04	3,04	4,61	ALVEARE	7	13	4,89	4,58	4,52
APPROCCIO	9	72	2,07	2,81	4,76	AMBULANZA	9	64	5,00	4,96	4,79
ARMONIA	7	65	1,54	2,77	4,70	AMMONIACA	9	18	4,71	4,42	4,61
ASCESA	6	39	2,32	2,69	4,42	ANELLO	6	90	4,86	4,92	4,85
ASSENSO	7	22	2,32	2,81	4,45	ARBUSTO	7	20	4,89	4,38	4,39
ASSUNTO	7	14	2,36	2,27	4,55	ARGENTO	7	122	4,64	4,35	4,79
ASTENSIONE	10	27	2,43	2,42	4,58	ARGILLA	7	27	4,71	4,15	4,48
ASTINENZA	9	15	2,43	2,96	4,55	ARMADIO	7	87	4,96	4,92	4,85
AUSILIO	7	20	2,64	2,12	4,42	ASTEROIDE	9	12	4,46	3,96	4,24
AZZARDO	7	28	2,21	2,62	4,58	ATLETA	6	118	4,57	4,81	4,76
BENEFICIO	9	68	2,64	2,35	4,58	BALENA	6	46	5,00	4,88	4,52
BENESSERE	9	87	2,04	3,08	4,76	BANDIERA	8	153	4,82	4,96	4,76
BRAVURA	7	42	2,07	2,54	4,70	BARATTOLO	9	25	5,00	4,85	4,79
CALCOLO	7	109	2,79	3,62	4,79	BASTONE	7	76	4,93	4,96	4,73
CALORIA	7	64	2,86	2,19	4,73	BATTELLO	8	25	4,93	4,73	4,55
CARENZA	7	50	2,39	2,46	4,55	BIBLIOTECA	10	102	4,75	4,81	4,70
CARISMA	7	22	1,68	2,50	4,58	BIETOLA	7	2	4,89	3,92	4,30
CAUTELA	7	47	1,96	2,58	4,67	BINARIO	7	42	4,75	4,88	4,73
CHIMICA	7	39	2,82	2,73	4,63	BINOCOLO	8	18	4,82	4,88	4,55
CLAMORE	7	26	2,43	2,50	4,45	BISONTE	7	7	5,00	4,54	4,39
COERENZA	8	47	1,79	2,19	4,82	BOCCAILE	7	12	4,96	4,81	4,55
CONCETTO	8	157	1,64	1,96	4,88	BOMBOLA	7	21	4,93	4,77	4,61
CONDOTTA	8	45	2,14	2,38	4,64	BOTTEGA	7	57	4,71	4,54	4,45
CONQUISTA	9	106	2,75	2,96	4,67	BOTTONE	7	44	5,00	4,88	4,76
CONTAGIO	8	26	2,82	3,12	4,64	BRACCIALE	9	12	4,93	4,88	4,52
CONTRASTO	9	89	2,57	2,96	4,70	BRICCIOLA	8	22	4,79	4,77	4,76
CORTESIA	8	33	2,11	3,23	4,70	BUSSOLA	7	17	4,96	4,81	4,67
CREDENZA	8	43	2,75	3,42	4,73	CALDAIA	7	14	4,86	4,65	4,61
CRITICA	7	245	2,14	2,92	4,79	CAMINO	6	29	4,96	4,81	4,79
CULMINE	7	13	2,82	2,92	4,52	CAMMELLO	8	15	5,00	4,92	4,70
DEBUTTO	7	67	2,54	3,23	4,55	CAMPANA	7	36	4,93	4,96	4,73
DECLINO	7	39	2,39	2,88	4,42	CANDELA	7	61	4,96	5,00	4,76
DEDIZIONE	9	19	1,96	2,27	4,39	CANESTRO	8	27	4,75	4,77	4,85
DEGENZA	7	12	3,00	3,15	4,36	CANGURO	7	12	4,96	4,92	4,67
DEMAGOGIA	9	15	1,82	1,69	4,12	CANTINA	7	67	4,86	4,73	4,73
DEROGA	6	11	2,50	2,12	4,30	CAPANNA	7	44	4,89	4,73	4,39
DILEMMA	7	29	2,07	2,38	4,61	CARBONE	7	48	4,96	4,69	4,73
DIVARIO	7	15	2,57	2,62	4,48	CARCIOFO	8	22	4,96	4,85	4,64
DIZIONE	7	15	2,43	2,46	4,24	CASCATA	7	25	4,64	4,73	4,55
DOLCEZZA	8	60	2,00	3,38	4,85	CASCINA	7	26	4,86	4,73	4,45
DOTTRINA	8	50	1,93	2,35	4,39	CAVERNA	7	26	4,93	4,77	4,33
DUREZZA	7	38	2,86	3,08	4,55	CAVIALE	7	11	4,89	4,38	4,58
EBREZZA	7	16	2,46	3,15	4,27	CELLULA	7	98	4,21	3,19	4,70
ECESSO	7	110	2,29	3,00	4,64	CEMENTO	7	91	4,93	4,42	4,64
EFFICACIA	9	70	2,25	1,92	4,73	CESPUGLIO	9	43	4,96	4,88	4,64
EGEMONIA	8	16	1,96	2,08	4,18	CHIODO	6	44	4,93	5,00	4,73
ELOGIO	6	27	2,11	2,73	4,45	CICATRICE	9	10	4,61	4,88	4,73
ENFASI	6	28	1,75	1,85	4,39	CILIEGIA	8	14	4,96	4,85	4,79
ENIGMA	6	20	1,82	3,08	4,52	CITOFONO	8	10	4,93	4,69	4,73

<b>Astratte</b>	<b>L</b>	<b>FU</b>	<b>Conc</b>	<b>Imm</b>	<b>Fam</b>
EPILOGO	7	29	2,43	2,27	4,36
ESENZIONE	9	18	2,64	2,23	4,55
ESILIO	6	41	2,50	2,88	4,42
ESORDIO	7	85	2,32	2,88	4,58
ESSENZA	7	55	2,32	2,73	4,42
FASCINO	7	149	1,64	3,12	4,64
FAZIONE	7	33	2,71	2,15	4,39
FINZIONE	8	36	2,25	2,54	4,52
FISICA	6	57	2,54	2,65	4,76
FREMITO	7	15	2,68	2,77	4,36
FRENESIA	8	12	2,21	2,46	4,27
FREQUENZA	9	66	2,32	2,73	4,88
GEOGRAFIA	9	28	2,71	3,46	4,82
GERARCHIA	9	29	2,43	3,00	4,70
GLORIA	6	77	1,75	2,88	4,67
IDEALE	6	108	1,46	2,27	4,85
IMPULSO	7	68	1,96	2,58	4,64
INCANTO	7	33	1,79	2,65	4,42
INDOLE	6	11	1,64	1,65	4,52
INDUGIO	7	17	2,04	2,31	4,36
INERZIA	7	12	2,39	2,81	4,55
INFANZIA	8	148	2,64	3,77	4,76
INFLUSSO	8	18	2,07	1,96	4,33
INGAGGIO	8	40	2,68	2,42	4,42
INGEGNO	7	16	2,07	2,42	4,61
INNOCENZA	9	36	1,61	2,96	4,61
INSIDIA	7	18	2,46	2,42	4,55
INTENTO	7	45	1,75	2,00	4,42
INTRIGO	7	28	1,89	2,38	4,45
INTUITO	7	10	1,50	2,23	4,76
LACUNA	6	19	2,54	2,38	4,61
LATITANZA	9	18	2,46	3,00	4,39
LEGGENDA	8	107	2,50	3,08	4,52
LITURGIA	8	17	2,50	3,31	4,33
LOGICA	6	117	1,71	2,23	4,85
MAGNETISMO	10	9	2,68	3,12	4,33
METAFORA	8	42	1,86	2,62	4,64
MIGRAZIONE	10	22	3,07	3,77	4,61
MILLENNIO	9	32	2,32	2,50	4,48
MIRAGGIO	8	23	2,18	3,38	4,52
MITOLOGIA	9	20	2,04	2,81	4,42
MONARCHIA	9	37	2,79	3,50	4,61
MONITO	6	19	1,86	2,23	4,24
MOVENTE	7	45	1,96	2,19	4,48
MUTAMENTO	9	79	2,96	2,81	4,48
NEGAZIONE	9	16	2,39	3,15	4,70
NOZIONE	7	31	1,93	2,42	4,70
OBIEZIONE	9	55	2,50	2,81	4,52
OFFESA	6	38	2,57	2,96	4,73
OPZIONE	7	30	2,43	2,73	4,76
PARADOSSO	9	37	2,04	2,08	4,67
PARAMETRO	9	48	2,25	2,38	4,61
POSSESSO	8	95	2,54	2,77	4,82
PRASSI	6	39	2,14	2,23	4,58
PRESTIGIO	9	75	1,79	2,50	4,61
PROCEDURA	9	127	2,82	2,54	4,79
PROGRESSO	9	100	2,46	2,73	4,76
PROMESSA	8	171	2,11	2,65	4,73
PRONTEZZA	9	20	2,18	2,54	4,52
PROPOSITO	9	148	2,00	2,00	4,52
PROROGA	7	30	2,32	2,62	4,36
PULIZIA	7	108	3,21	3,85	4,94
PUREZZA	7	28	1,89	2,65	4,61
RESPONSO	8	13	2,75	2,62	4,42
RIBASSO	7	51	2,64	2,88	4,39
RIDUZIONE	9	134	2,43	2,42	4,73
RIMEDIO	7	71	2,39	2,77	4,64
RINVIO	6	85	2,82	2,92	4,64
RISCOSSA	8	20	2,25	2,65	4,45
RITUALE	7	41	2,43	3,38	4,42
ROTTURA	7	110	3,46	3,73	4,73
SALVEZZA	8	85	2,14	2,58	4,79
SATIRA	6	34	2,32	2,54	4,64
SCIOPERO	8	100	3,29	3,77	4,64
SCOPERTA	8	222	2,89	2,73	4,79
SCRUPOLO	8	36	1,79	2,15	4,67
SESSIONE	8	23	2,29	2,35	4,64

<b>Concrete</b>	<b>L</b>	<b>FU</b>	<b>Conc</b>	<b>Imm</b>	<b>Fam</b>
COLLINA	7	126	4,68	4,73	4,73
CONCHIGLIA	10	35	4,93	4,92	4,64
COPERCHIO	9	19	4,79	4,85	4,70
CORALLO	7	9	4,86	4,42	4,58
CORNICE	7	60	4,86	4,96	4,76
CRAVATTA	8	48	4,96	4,88	4,73
CRISTALLO	9	49	4,75	4,31	4,67
DATTERO	7	4	4,82	4,54	4,48
DESERTO	7	110	4,50	4,85	4,79
DETERSIVO	9	11	4,93	4,96	4,82
DIAMANTE	8	30	4,82	4,81	4,55
ELICOTTERO	10	105	5,00	4,96	4,72
FALENA	6	1	4,86	3,85	4,18
FECOLA	6	3	4,86	3,35	4,15
FERITA	6	92	4,61	4,77	4,76
FIAMMA	6	151	4,43	4,88	4,76
FONTANA	7	40	4,93	4,96	4,76
GABBIA	6	54	4,79	4,73	4,64
GALLERIA	8	98	6,46	4,77	4,76
GARDENIA	8	5	4,89	3,81	4,18
GERANIO	7	12	4,93	4,73	4,48
GHIACCIO	8	87	4,71	4,88	4,76
GIACCA	6	142	5,00	4,88	4,73
GRADINO	7	59	4,89	4,85	4,82
GRANITO	7	14	4,93	4,23	4,30
GRILLETTO	9	12	4,89	4,65	4,42
GUANCIALE	9	6	4,93	4,46	4,33
GUANTO	6	41	4,93	4,88	4,73
IMBUTO	6	10	4,89	4,88	4,76
LABIRINTO	9	27	4,36	4,65	4,52
LANTERNA	8	14	4,93	4,62	4,52
LENZUOLO	8	61	4,93	4,92	4,76
MANDORLA	8	27	4,96	4,77	4,55
MANIGLIA	8	15	4,96	4,85	4,85
MANTELLO	8	28	4,93	4,85	4,55
MEDAGLIA	8	90	4,86	4,92	4,73
MELANZANA	9	13	4,96	4,92	4,76
MENDICANTE	10	17	4,61	4,54	4,42
MENSOLA	7	17	4,86	4,69	4,70
MUSCHIO	7	12	4,86	4,73	4,58
NOMADE	6	27	4,07	4,08	4,39
OCEANO	6	62	4,75	4,92	4,73
OMBRELLO	8	31	4,93	4,92	4,85
OROLOGIO	8	143	4,89	5,00	4,85
PAGLIA	6	33	4,93	4,77	4,61
PANCHINA	8	100	4,96	4,88	4,76
PANTERA	7	16	4,89	4,73	4,48
PANTOFOLA	9	14	5,00	5,00	4,73
PAPAIA	6	2	4,89	3,23	4,09
PENDOLO	7	24	4,82	4,58	4,52
PENNELLO	8	29	4,93	5,00	4,70
PEPERONE	8	27	4,89	4,92	4,85
PERGAMENA	9	32	4,71	4,62	4,21
PIANETA	7	139	4,57	4,54	4,67
PIANURA	7	47	4,61	4,69	4,64
POLTRONA	8	168	5,00	4,96	4,73
POLVERE	7	139	4,54	4,58	4,70
PRIMULA	7	13	4,93	4,38	4,24
QUERCIA	7	30	4,93	4,35	4,52
RACCHETTA	9	29	4,93	4,81	4,61
RAGNATELA	9	17	4,79	4,77	4,67
RICOTTA	7	16	4,75	4,73	4,76
ROMANZO	7	289	4,07	4,58	4,73
ROSMARINO	9	18	5,00	4,65	4,67
RUSCELLO	8	13	4,82	4,85	4,42
SABBIA	6	101	4,86	4,96	4,61
SANTUARIO	9	30	4,50	4,38	4,58
SARCOFAGO	9	15	4,89	4,46	4,24
SATELLITE	9	63	4,61	4,12	4,64
SCIALLE	7	10	4,89	4,65	4,33
SERBATOIO	9	37	4,86	4,58	4,61
SERRATURA	9	17	4,82	4,73	4,76
SIGARO	6	27	5,00	4,96	4,55
SPECCHIO	8	138	4,86	4,96	4,85
SPUGNA	6	38	4,93	4,96	4,76
SPUMANTE	8	12	4,86	4,85	4,70
STAMPELLA	9	13	4,93	4,88	4,52

<b>Astrate</b>	<b>L</b>	<b>FU</b>	<b>Conc</b>	<b>Imm</b>	<b>Fam</b>
SFARZO	6	14	2,71	3,27	4,24
SFUMATURA	9	50	2,57	3,38	4,58
SINTONIA	8	60	1,71	2,35	4,67
SLANCIO	7	44	2,61	2,81	4,48
SODALIZIO	9	20	2,14	2,04	4,15
SORTEGGIO	9	15	2,93	3,54	4,61
TRASFERITA	9	64	2,89	3,50	4,73
TREGUA	6	46	2,50	2,65	4,61
TRIOLOGIA	8	11	2,54	2,92	4,45
TRIONFO	7	98	2,68	3,73	4,58
TURISMO	7	85	3,18	3,92	4,85
TUTELA	6	91	2,00	2,12	4,64
URGENZA	7	83	2,14	3,19	4,79
USANZA	6	26	2,36	2,96	4,55
VIGORE	6	109	2,18	2,42	4,52
VINCITA	7	12	3,14	3,69	4,64
VOCAZIONE	9	75	1,46	2,31	4,48

<b>Concrete</b>	<b>L</b>	<b>FU</b>	<b>Conc</b>	<b>Imm</b>	<b>Fam</b>
STATUA	6	102	5,00	4,96	4,70
STELLA	6	261	4,39	4,85	4,76
TALISMANO	9	8	4,25	4,19	4,27
TARTARUGA	9	32	4,96	4,96	4,55
TARTUFO	7	18	4,89	4,46	4,58
TATUAGGIO	9	22	4,89	4,85	4,70
TERREMOTO	9	55	4,43	4,15	4,73
TIMONE	6	31	4,86	4,88	4,39
TRAGHETTO	9	25	5,00	4,92	4,58
TRATTORIA	9	19	4,82	4,58	4,73
VELENO	6	73	4,39	3,69	4,64
VENTAGLIO	9	13	4,93	4,85	4,48
VESTAGLIA	9	21	4,96	4,85	4,64
VIGNETO	7	16	4,79	4,69	4,58
VOLANTE	7	106	4,89	5,00	4,73
ZATTERA	7	15	4,79	4,77	4,45
ZUPPIERA	8	5	4,96	4,42	4,39

<b>Pseudop</b>	<b>L</b>	<b>Pseudop</b>	<b>L</b>
ABININA	7	DOGNEO	6
ACHIMEA	7	DOLATTO	7
ADIMALA	7	DOLUBRA	7
AQUIRDA	7	DONTALA	7
ARGESMO	7	DUBRIGNO	8
ARGODO	6	DUMIUTO	7
ARSULLO	7	EBURTOLLA	9
ASMOLDO	7	EDIOMBE	7
ATELECO	7	ELIBBIO	7
BARCHIO	7	ELLITORIO	9
BARUTA	6	EMPULIA	7
BECCHIRTA	9	ENCHIOTTO	9
BEFFICOLO	9	ENISTOLO	8
BENGHITTO	9	EPAGHELLO	9
BENIMERA	8	EPRIVIA	7
BENTORIA	8	ERMOSTA	7
BERIMETTO	9	ERTOLIA	7
BERZIO	6	ERVINOCO	8
BICCIOTE	8	FARCHEA	7
BIEROMMA	8	FARISTULA	9
BIGASTE	7	FARMINA	7
BILCIRA	7	FAVOGO	6
BOLTRA	6	FEISCOMA	8
BOSFAO	6	FELZIA	6
BRALLISCO	9	FENGHIA	7
BUDALIO	7	FENTEIROLA	10
BURGLO	7	FEPITIRO	8
BURTANNA	8	FERIDUSO	8
BURTOPANO	9	FERVINA	7
CAFORPEO	8	FINADERA	8
CAMUVIA	7	FORRICO	7
CAVUSORA	8	FRAMUNA	7
CEGHELO	7	FRANGHINO	9
CETTULA	7	FRANIA	6
CHERFO	6	FRAPODA	7
CHERIFERO	9	FRAPPURA	8
CHERIMONA	9	FREGHIERO	9
CHERUNA	7	FRONAGGIA	9
CHINNO	6	FRONIPARO	9
CHISFEA	7	FRONOLITTA	10
CHITENA	7	FROSTENA	8
CILTOGRA	8	FRULINEO	8
CINOMASA	8	FRULLIA	7
CIROLE	6	GAMOSSOLO	9
CITTOMA	7	GARIRO	6
COGALLE	7	GARIVOLLO	9
COPANA	7	GEBELLATA	9
DACCHENA	8	GEMICENO	8
DAGHERA	7	GERIPELLO	9
DELIERE	7	GERLINDIO	9
DELVAMERO	9	GERTUFFIO	9
DEMIRIA	7	GERUBANE	8
DENEME	6	GHEMORINA	9
DERLIFA	7	GHERIO	6
DILOCEFE	8	GHINEMA	7
DIMARDO	7	GIASUTTO	8
DOFAGO	6	GIOTRELO	8

<b>Pseudop</b>	<b>L</b>	<b>Pseudop</b>	<b>L</b>
GIVENA	6	MERONA	6
GOLBENO	7	MIFRUA	6
GOSSURA	7	MINVACO	7
GRISTULTRO	10	MIRPASCA	8
GROLITUO	8	MOCRORA	7
GUFFILLO	8	MOFEGRO	7
IBONAZIA	8	MOSPINO	7
IBRAGLIA	8	MUNARIO	7
IFENGA	6	NAGHIO	6
IGENTURIA	9	NATILLO	7
IGHENAVIA	9	NEFERTA	7
IGRONE	6	NEGHIOTA	8
ILLOGEMIA	9	NELEBO	6
IMEGRIO	7	NEMBRICIO	9
INOCUTRO	8	NEMIGGIA	8
INOTTARIO	9	NESCORINO	9
INTORZIO	8	NIASTO	6
IRDELLA	7	NIOSCEA	7
ITENIO	6	NOTIERA	7
ITOGGIA	7	OBBICOLA	8
IUALENE	7	OLIFERO	7
LAMBICCIO	9	OLIRIA	6
LAMBRAZIA	9	OLTERGO	7
LAMIFISCIA	10	OMETTIA	7
LARNADA	7	ONIGHENIA	9
LEFFANO	7	ONIMARENO	9
LEMITAZIA	9	OSTOGE	6
LEMMIGGIO	9	OSTUMIA	7
LENGHEMUO	9	OTENUSIA	8
LENOCAMIA	9	PEGGINTO	8
LENZIFFIA	9	PELLUNA	7
LERITOMIA	9	PEMIGLIA	8
LEROMATE	8	PENNOLASO	9
LESCIA	6	PERMERZIA	9
LESSOGGIO	9	PESTILOTO	9
LESTINIA	8	POVISCOLA	9
LEVORNICO	9	PRENZIA	7
LIOFEZA	7	PRETTINA	8
LISMERIA	8	PROPARIO	8
LOMBERTEA	9	PUSICE	6
LOMUCCHIA	9	QUARDARIVO	10
LONETTENA	9	QUARSINA	8
LOPEMBA	7	QUERINE	7
LORCHENO	8	QUEVERSIA	9
LOTAGGIO	8	QUORGLIA	8
LUESTE	6	QUOTOLLO	8
MACORA	6	RASBIO	6
MEASCETTO	9	RASCELPA	8
MEBIFFERIA	10	RATURIA	7
MECHESSE	8	REANILDO	8
MENCHITTO	9	RECCORO	7
MENFRANIA	9	REGORTINA	9
MENICCOLO	9	RESCORINA	9
MENOZIO	7	RILANE	6
MERELIA	7	RINOZIA	7
MEREZZO	7	RIPERMURA	9
MERILLIO	8	RISUMORA	8

<b>Pseudop</b>	<b>L</b>	<b>Pseudop</b>	<b>L</b>	<b>Pseudop</b>	<b>L</b>	<b>Pseudop</b>	<b>L</b>
ROCCOTINA	9	SMIDESO	7	TORMINO	7	VIMAFO	6
ROFFINA	7	SOTTIRA	7	TRABINO	7	VOLIMERO	8
ROFOSEDO	8	STEMOA	6	TREFIRA	7	VOLUNCERO	9
ROLISTIA	8	STRIRBO	7	TRISSO	6	VOSPIA	6
RONACCOLO	9	STUNUCIA	8	TROFFOLIO	9	VUMIORA	7
RONAGO	6	TANDIA	6	TROGNA	6	VUSTANE	7
RONTOLLE	8	TAPONDA	7	TRUSPEGA	8	ZALIMBRE	8
RUDUMIPA	8	TARGIO	6	TUNORALA	8	ZANGHEVIA	9
SATRUDONIO	10	TELMURIA	9	UCHELLA	7	ZATTIRANO	9
SBIRVA	6	TELLINOMA	9	UGHERA	6	ZEBBARO	7
SCERUNA	7	TELMURE	7	ULEMIA	6	ZEPPINO	7
SCOGHITTA	9	TEMIVARA	8	ULMONIA	7	ZIALMO	6
SCRIADO	7	TERSUCO	7	UMBREAZIA	9	ZICCHIO	7
SEMUFIO	7	TIFFORA	7	VENGHIO	7	ZILLENIA	7
SENDIZANTE	10	TINOMUA	7	VENGHITTO	9	ZITTORE	7
SERELLO	7	TOCALEMO	8	VERGLIO	7	ZONTERA	7
SIRULAPO	8	TOLURO	6	VERMUTENE	9	ZONUTE	6
SIRVORA	7	TORLENO	7	VERNIFERO	9	ZORUSA	6

## Istruzioni per la compilazione dei questionari

Di seguito sono riportate le istruzioni per la compilazione dei questionari somministrati ai giudici (circa 60 per l'esperimento 2 e 90 per gli esperimenti 3 e 4).

### 1. Questionario sulla concretezza delle parole

Caro/a studente/essa,

ti ringraziamo in anticipo per l'aiuto che ci fornirai compilando questo questionario.

Ti preghiamo di leggere attentamente queste istruzioni al compito. Saremo comunque lieti di rispondere a qualunque tuo dubbio o richiesta di chiarimento in qualunque momento.

Rispondere alle domande è facile: è sufficiente scegliere tra le risposte quella che più si avvicina al tuo parere e barrare la relativa casella. E' importante rispondere ad ogni domanda, senza tralasciare nulla.

#### Istruzioni

Le parole che si riferiscono agli oggetti, agli esseri viventi, alle azioni e ai materiali che possono essere esperiti con i sensi, sono generalmente considerate **concrete**. Le parole che si riferiscono a concetti che non possono essere esperiti con i sensi, sono generalmente considerate **astratte**.

Nelle pagine che seguono, troverai una lista di parole. Ogni parola è accompagnata da una scala. La scala va da 1 a 5 punti, in questo modo:

1. Estremamente astratta	2. Abbastanza astratta	3. Né astratta né concreta	4. Abbastanza concreta	5. Estremamente concreta
-----------------------------	---------------------------	-------------------------------	---------------------------	-----------------------------

Il tuo compito consiste nel valutare ciascuna parola per il suo grado di concretezza o di astrattezza.

Le parole che si riferiscono a oggetti, materiali o persone dovrebbero ricevere un punteggio alto, essendo parole concrete; le parole che si riferiscono a concetti astratti che non possono essere esperiti con i sensi dovrebbero ricevere un punteggio basso.

Sentiti libero di utilizzare tutti i valori della scala e non preoccuparti del numero di volte che utilizzi uno stesso valore. Valuta ciascuna parola segnando con una crocetta il numero che rappresenta meglio il tuo giudizio.

Esprimi un solo giudizio per ciascuna parola.

Ricorda di valutare tutte le parole.

## 2. Questionario sulla familiarità delle parole

Caro/a studente/essa,

ti ringraziamo in anticipo per l'aiuto che ci fornirai compilando questo questionario.

Ti preghiamo di leggere attentamente queste istruzioni al compito. Saremo comunque lieti di rispondere a qualunque tuo dubbio o richiesta di chiarimento in qualunque momento.

Rispondere alle domande è facile: è sufficiente scegliere tra le risposte quella che più si avvicina al tuo parere e barrare la relativa casella. E' importante rispondere ad ogni domanda, senza tralasciare nulla.

### Istruzioni

Nelle pagine che seguono, troverai una lista di parole. Ciascuna parola è accompagnata da una scala. La scala va da 1 a 5 punti, in questo modo:

1. Del tutto sconosciuta	2. Quasi sconosciuta	3. Né familiare né sconosciuta	4. Abbastanza familiare	5. Molto familiare
--------------------------	----------------------	--------------------------------	-------------------------	--------------------

Il tuo compito consiste nel giudicare la **familiarità** di ciascuna parola. La familiarità può essere definita come **la sensazione di conoscere una certa parola**. Dovrai valutare quanto è usuale o inusuale nel tuo campo d'esperienza ciascuna delle parole che ti verranno presentate.

Detto in altri termini, dovrai assegnare:

- il punteggio minimo (*1. Del tutto sconosciuta*), se NON hai mai incontrato la parola;
- un punteggio intermedio (*da 2 a 4 punti*), a seconda che la parola ti sia più o meno familiare; al crescere della sensazione di conoscere la parola, dovrebbe crescere il punteggio che assegna;
- il punteggio massimo (*5. Molto familiare*), nel caso in cui la parola sia per te estremamente familiare.

Non preoccuparti del numero di volte che utilizzi uno stesso valore.

Valuta ciascuna parola segnando con una crocetta il numero che rappresenta meglio il tuo giudizio.

Esprimi un solo giudizio per ciascuna parola.

Ricorda di valutare tutte le parole.

### 3. Questionario sul valore di immagine delle parole

Caro/a studente/essa,

ti ringraziamo in anticipo per l'aiuto che ci fornirai compilando questo questionario.

Ti preghiamo di leggere attentamente queste istruzioni al compito. Saremo comunque lieti di rispondere a qualunque tuo dubbio o richiesta di chiarimento in qualunque momento.

Rispondere alle domande è facile: è sufficiente scegliere tra le risposte quella che più si avvicina al tuo parere e barrare la relativa casella. E' importante rispondere ad ogni domanda, senza tralasciare nulla.

#### Istruzioni

Le parole differiscono nella capacità di evocare immagini mentali di cose o eventi. Alcune parole evocano un'esperienza sensoriale, come un'immagine o un suono, più velocemente e più facilmente di altre. L'**immaginabilità** viene definita come la velocità e la semplicità con cui una certa parola evoca un'immagine mentale.

Nelle pagine che seguono, troverai una lista di parole. Ogni parola è accompagnata da una scala. La scala va da 1 a 5 punti, in questo modo:

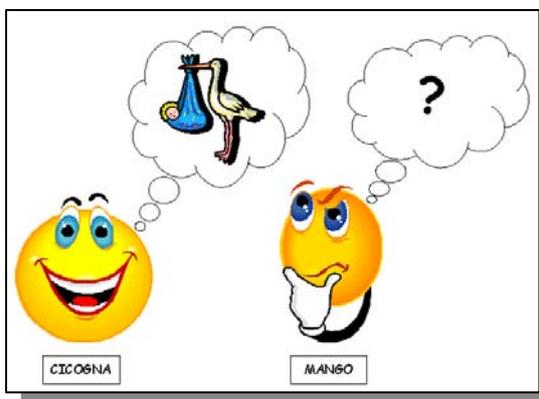
1. Molto difficile da immaginare	2. Abbastanza difficile da immaginare	3. Né facile né difficile da immaginare	4. Abbastanza facile da immaginare	5. Molto facile da immaginare
----------------------------------	---------------------------------------	---	------------------------------------	-------------------------------

Il tuo compito consiste nel valutare ciascuna parola.

Dovrai cercare di rappresentarti mentalmente l'oggetto corrispondente alla parola. Se la parola evoca molto facilmente un'immagine mentale, dovrai assegnare un punteggio alto; se al contrario, la parola non evoca alcuna immagine mentale, dovrai assegnare un punteggio basso.

Detto in altri termini, dovrai assegnare:

- il punteggio minimo (1. *Molto difficile da immaginare*), nel caso in cui la parola NON evochi alcuna immagine o sia molto difficile da immaginare;
- un punteggio intermedio, a seconda che la parola evochi un'immagine più o meno sfocata o incompleta; al crescere del punteggio (*da 2 a 4 punti*), cresce la facilità con cui la parola evoca un'immagine;
- il punteggio massimo (5. *Molto facile da immaginare*), nel caso in cui la parola evochi un'immagine molto vivida.



Sentiti libero di utilizzare tutti i valori della scala e non preoccuparti del numero di volte che utilizzi uno stesso valore. Valuta ciascuna parola segnando con una crocetta il numero che rappresenta meglio il tuo giudizio.

Esprimi un solo giudizio per ciascuna parola. Ricorda di valutare tutte le parole.

## Riferimenti bibliografici

- Assadollahi, R., & Pulvermüller, F. (2003). Early influences of word length and frequency: a group study using MEG. *Neuroreport*, *14*(8), 1183-1187.
- Assadollahi, R., & Rockstroh, B. (2005). Neuromagnetic brain responses to words from semantic sub- and supercategories. *BMC Neurosci*, *6*(1), 57.
- Barca, L., Burani, C., & Arduino, L. S. (2002). Word naming times and psycholinguistic norms for Italian nouns. *Behav Res Methods Instrum Comput*, *34*(3), 424-434.
- Bentin, S., Mouchetant-Rostaing, Y., Giard, M. H., Echallier, J. F., & Pernier, J. (1999). ERP Manifestations of Processing Printed Words at Different Psycholinguistic Levels: Time Course and Scalp Distribution. *J Cogn Neurosci*, *11*(3), 235-260.
- Bertinetto, P. M., Burani, C., Laudanna, A., Marconi, L., Ratti, D., Rolando, C., et al. (2006). Corpus e lessico di frequenza dell'Italiano scritto (CoLFIS). [Corpus and frequency lexicon of written Italian] *Scuola Normale Superiore di Pisa*, from <http://www.istc.cnr.it/material/database/colfis/>.
- Binder, J. R., Westbury, C. F., McKiernan, K. A., Possing, E. T., & Medler, D. A. (2005). Distinct brain systems for processing concrete and abstract concepts. *J Cogn Neurosci*, *17*(6), 905-917.
- Bransford, J. D., & McCarrell, N. S. (1974). A sketch of a cognitive approach to comprehension. In W. Weimer & D. Palermo (Eds.), *Cognition and the symbolic processes* (pp. 189-229). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Braun, M., Jacobs, A. M., Hahne, A., Ricker, B., Hofmann, M., & Hutzler, F. (2006). Model-generated lexical activity predicts graded ERP amplitudes in lexical decision. *Brain Res*, *1073-1074*, 431-439.
- Brown, G. D. A., & Watson, F. L. (1987). First in, first out. Word learning age and spoken word frequency as predictors of word familiarity and word naming latency. *Mem Cognit*, *15*, 208-216.
- Cappa, S. F., Perani, D., Schnur, T., Tettamanti, M., & Fazio, F. (1998). The effects of semantic category and knowledge type on lexical-semantic access: a PET study. *NeuroImage*, *8*(4), 350-359.
- Caramazza, A., Hillis, A. E., Rapp, B. C., & Romani, C. (1990). The multiple semantics hypothesis: multiple confusions? *Cogn Neuropsychol*, *7*(3), 161 - 189.
- Caramazza, A., & Mahon, B. Z. (2003). The organization of conceptual knowledge: the evidence from category-specific semantic deficits. *Trends Cogn Sci*, *7*(8), 354-361.
- Caramazza, A., & Shelton, J. R. (1998). Domain-specific knowledge systems in the brain: the animate-inanimate distinction. *J Cogn Neurosci*, *10*(1), 1-34.
- Carreiras, M., Vergara, M., & Perea, M. (2007). ERP correlates of transposed-letter similarity effects: Are consonants processed differently from vowels? *Neurosci Lett*, *419*(3), 219-224.
- Caselli, M. C., Pasqualetti, P., & Stefanini, S. (2007). *Parole e frasi nel "primo vocabolario del bambino". Nuovi dati normativi fra 18 e 36 mesi e forma breve del questionario*. Milano: Franco Angeli.
- Chao, L. L., Nielsen-Bohlman, L., & Knight, R. T. (1995). Auditory event-related potentials dissociate early and late memory processes. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, *96*(2), 157-168.
- Cohen, L., & Dehaene, S. (2004). Specialization within the ventral stream: the case for the visual word form area. *NeuroImage*, *22*(1), 466-476.

- Coltheart, M. (1978). Lexical access in simple reading tasks. In G. Underwood (Ed.), *Strategies of Information Processing* (pp. 151-216). San Diego (CA) Academic Press.
- Coltheart, M., Davelaar, E., Jonasson, J. T., & Besner, D. (1977). Access to the internal lexicon. In s. Dornic (Ed.), *Attention and performance* (Vol. 6). Hillsdale (NJ): Erlbaum.
- Coltheart, M., & Rastle, K. (1994). Serial processing in reading aloud: evidence for dual-route models of reading. *J Exp Psychol*, *20*(6), 1197-1211.
- Craik, F. I. M., & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *11*(6), 671-684.
- Damasio, H., Grabowski, T. J., Tranel, D., Hichwa, R. D., & Damasio, A. R. (1996). A neural basis for lexical retrieval. *Nature*, *380*(6574), 499-505.
- Devlin, J. T., Moore, C. J., Mummery, C. J., Gorno-Tempini, M. L., Phillips, J. A., Noppeney, U., et al. (2002). Anatomic constraints on cognitive theories of category specificity. *NeuroImage*, *15*(3), 675-685.
- Dien, J. (2009). The neurocognitive basis of reading single words as seen through early latency ERPs: A model of converging pathways. *Biol Psychol*, *80*(1), 10-22.
- Dien, J., & O'Hare, A. J. (2008). Evidence for automatic sentence priming in the fusiform semantic area: Convergent ERP and fMRI findings. *Brain Res*, *1243*, 134-145.
- Donchin, E. (1987). The P300 as a metric for mental workload. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl.*, *39*, 338-343.
- Fiebach, C. J., & Friederici, A. D. (2004). Processing concrete words: fMRI evidence against a specific right-hemisphere involvement. *Neuropsychologia*, *42*(1), 62-70.
- Fiebach, C. J., Friederici, A. D., Müller, K., von Cramon, D. Y., & Hernandez, A. E. (2003). Distinct brain representations for early and late learned words. *NeuroImage*, *19*(4), 1627-1637.
- Flowers, D. L., Jones, K., Noble, K., VanMeter, J., Zeffiro, T. A., Wood, F. B., et al. (2004). Attention to single letters activates left extrastriate cortex. *NeuroImage*, *21*(3), 829-839.
- Funnell, M. G., Corballis, P. M., & Gazzaniga, M. S. (2001). Hemispheric processing asymmetries: Implications for memory. *Brain Cogn*, *46*(1-2), 135-139.
- Gilhooly, K. J., & Logie, R. H. (1980). Age of acquisition, imagery, concreteness, familiarity and ambiguity measures for 1944 words. *Behaviour Research Methods and Instrumentation*, *12*, 395-427.
- Gold, B. T., Balota, D. A., Kirchoff, B. A., & Buckner, R. L. (2005). Common and dissociable activation patterns associated with controlled semantic and phonological processing: evidence from fMRI adaptation. *Cereb Cortex*, *15*(9), 1438-1450.
- Grainger, J., & Jacobs, A. M. (1996). Orthographic Processing in Visual Word Recognition: A Multiple Read-Out Model. *Psychol Rev*, *103*(3), 518-565.
- Hart, J., Berndt, R. S., & Caramazza, A. (1985). Category-specific naming deficit following cerebral infarction. *Nature*, *316*(6027), 439-440.
- Hart, J., & Gordon, B. (1992). Neural subsystems for object knowledge. *Nature*, *359*(6390), 60-64.
- Hauk, O., Davis, M. H., Ford, M., Pulvermüller, F., & Marslen-Wilson, W. D. (2006). The time course of visual word recognition as revealed by linear regression analysis of ERP data. *NeuroImage*, *30*(4), 1383-1400.
- Hauk, O., Davis, M. H., Kherif, F., & Pulvermüller, F. (2008). Imagery or meaning? Evidence for a semantic origin of category-specific brain activity in metabolic imaging. *Eur J Neurosci*, *27*(7), 1856-1866.

- Hauk, O., & Pulvermüller, F. (2004). Effects of word length and frequency on the human event-related potential. *Clin Neurophysiol*, *115*(5), 1090-1103.
- Hauk, O., Pulvermüller, F., Ford, M., Marslen-Wilson, W. D., & Davis, M. H. (2009). Can I have a quick word? Early electrophysiological manifestations of psycholinguistic processes revealed by event-related regression analysis of the EEG. *Biol Psychol*, *80*(1), 64-74.
- Hickok, G., & Poeppel, D. (2004). Dorsal and ventral streams: a framework for understanding aspects of the functional anatomy of language. *Cognition*, *92*(1-2), 67-99.
- Hillis, A. E., & Caramazza, A. (1991). Category-specific naming and comprehension impairment: a double dissociation. *Brain*, *114*(5), 2081-2094.
- Hillyard, S. A., & Anllo-Vento, L. (1998). Event-related brain potentials in the study of visual selective attention. *Proc Natl Acad Sci U S A*, *95*(3), 781-787.
- Holcomb, P. J., & Grainger, J. (2007). Exploring the temporal dynamics of visual word recognition in the masked repetition priming paradigm using event-related potentials. *Brain Res*, *1180*, 39-58.
- Holcomb, P. J., Kounios, J., Anderson, J. E., & West, W. C. (1999). Dual-coding, context-availability, and concreteness effects in sentence comprehension: An electrophysiological investigation. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, *25*(3), 721-742.
- Humphreys, G. W., & Forde, E. M. (2001). Hierarchies, similarity, and interactivity in object recognition: "category-specific" neuropsychological deficits. *Behav Brain Sci*, *24*(03), 453-509.
- Johnson, R. (1986). A Triarchic Model of P300 Amplitude. *Psychophysiology*, *23*(4), 367-384.
- Johnson, R. (1993). On the neural generators of the P300 component of the event-related potential. *Psychophysiology*, *30*(1), 90-97.
- Kanwisher, N., McDermott, J., & Chun, M. M. (1997). The Fusiform Face Area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *J Neurosci*, *17*(11), 4302-4311.
- Kiefer, M. (2005). Repetition-priming modulates category-related effects on event-related potentials: further evidence for multiple cortical semantic systems. *J Cogn Neurosci*, *17*(2), 199-211.
- Kiehl, K. A., Liddle, P. F., Smith, A. M., Mendrek, A., Forster, B. B., & Hare, R. D. (1999). Neural pathways involved in the processing of concrete and abstract words. *Hum Brain Mapp*, *7*(4), 225-233.
- King, J. W., & Kutas, M. (1998). Neural plasticity in the dynamics of human visual word recognition. *Neurosci Lett*, *244*(2), 61-64.
- Kosslyn, S. M. (1994). *Image and Brain: The Resolution of the Imagery Debate*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Kounios, J., & Holcomb, P. J. (1994). Concreteness effects in semantic processing: ERP evidence supporting dual-coding theory. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, *20*(4), 804-823.
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1980). Reading senseless sentences: brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, *207*(4427), 203-205.
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1984). Brain potentials during reading reflect word expectancy and semantic association. *Nature*, *307*(5947), 161-163.
- Kutas, M., Van Petten, C., Traxler, M., & Gernsbacher, M. (2006). Psycholinguistics Electrified II. In *The Handbook of Psycholinguistics*: Elsevier.

- Lehmann, D., Pascual-Marqui, R. D., Strik, W. K., & Koenig, T. (2009). Core networks for visual-concrete and abstract thought content: A brain electric microstate analysis. *NeuroImage*, *49*(1), 1073-1079.
- Mari-Beffa, P., Valdés, B., Cullen, D. J. D., Catena, A., & Houghton, G. (2005). ERP analyses of task effects on semantic processing from words. *Cogn Brain Res*, *23*(2-3), 293-305.
- Marques, J. F., Canessa, N., Siri, S., Catricalà, E., & Cappa, S. (2008). Conceptual knowledge in the brain: fMRI evidence for a featural organization. *Brain Res*, *1194*, 90-99.
- Martín-Loeches, M. (2007). The gate for reading: Reflections on the recognition potential. *Brain Res Rev*, *53*(1), 89-97.
- Martín-Loeches, M., Hinojosa, J. A., Fernández-Frías, C., & Rubia, F. J. (2001). Functional differences in the semantic processing of concrete and abstract words. *Neuropsychologia*, *39*(10), 1086-1096.
- Martín-Loeches, M., Hinojosa, J. A., Gomez-Jarabo, G., & Rubia, F. J. (2001). An early electrophysiological sign of semantic processing in basal extrastriate areas. *Psychophysiology*, *38*(1), 114-124.
- Martin, A. (2007). The representation of object concepts in the brain. *Annu Rev Psychol*, *58*(1), 25-45.
- Martin, A., Ungerleider, L. G., & Haxby, J. V. (2000). Category specificity and the brain: the sensory/motor model of semantic representations of objects. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The New Cognitive Neurosciences* (pp. 1023-1036): MIT Press.
- McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (1981). An interactive activation model of context effects in letter perception, Part 1: An account of basic findings. *Psychol Rev*, *88*, 375-407.
- McRae, K., & Cree, G. S. (2002). Factors underlying category-specific semantic impairments. In E. M. Forde & G. W. Humphreys (Eds.), *Category specificity in brain and mind*. (pp. 211-249): Psychology Press.
- Mondini, S., Angrilli, A., Bisiacchi, P., Spironelli, C., Marinelli, K., & Semenza, C. (2008). Mass and Count nouns activate different brain regions: An ERP study on early components. *Neurosci Lett*, *430*(1), 48-53.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, *9*(1), 97-113.
- Oostenveld, R., & Praamstra, P. (2001). The five percent electrode system for high-resolution EEG and ERP measurements. *Clin Neurophysiol*, *112*(4), 713-719.
- Paivio, A. (1991). Dual Coding Theory: Retrospect and Current Status. *Can J Psychol*, *45*(3), 255-287.
- Paivio, A., Yuille, J. C., & Madigan, S. A. (1968). Concreteness, imagery, and meaningfulness values for 925 nouns. *J Exp Psychol, Monogr. Suppl.*, *76*, 1-25.
- Palmero-Soler, E., Dolan, K., Hadamschek, V., & Tass, P. A. (2007). swLORETA: a novel approach to robust source localization and synchronization tomography. *Phys Med Biol*, *52*(7), 1783-1800.
- Pascual-Marqui, R. D., Michel, C. M., & Lehmann, D. (1994). Low resolution electromagnetic tomography: a new method for localizing electrical activity in the brain. *Int J Psychophysiol*, *18*(1), 49-65.
- Paulesu, E., McCrory, E., Fazio, F., Menoncello, L., Brunswick, N., Cappa, S. F., et al. (2000). A cultural effect on brain function. *Nat Neurosci*, *3*(1), 91-96.
- Penolazzi, B., Hauk, O., & Pulvermüller, F. (2007). Early semantic context integration and lexical access as revealed by event-related brain potentials. *Biol Psychol*, *74*(3), 374-388.

- Perani, D., Cappa, S. F., Schnur, T., Tettamanti, M., Collina, S., Rosa, M. M., et al. (1999). The neural correlates of verb and noun processing: A PET study. *Brain*, *122*(12), 2337-2344.
- Posner, M. I. (1969). Abstraction and the process of recognition. In G. Bower & J. T. Spence (Eds.), *Psychology of learning and motivation* (Vol. 3). New York: Academic Press.
- Proverbio, A., Zotto, M., & Zani, A. (2006). Greek language processing in naive and skilled readers: Functional properties of the VWFA investigated with ERPs. *Cogn Neuropsychol*, *23*, 355-375.
- Proverbio, A. M., Adorni, R., & Zani, A. (2009). Inferring native language from early bio-electrical activity. *Biol Psychol*, *80*(1), 52-63.
- Proverbio, A. M., Wiedemann, F., Adorni, R., Rossi, V., Del Zotto, M., & Zani, A. (2007). Dissociating object familiarity from linguistic properties in mirror word reading. *Behav Brain Funct*, *3*(1), 43.
- Proverbio, A. M., Zani, A., & Adorni, R. (2008). The left fusiform area is affected by written frequency of words. *Neuropsychologia*, *46*(9), 2292-2299.
- Reicher, G. M. (1969). Perceptual recognition as a function of meaningfulness of stimulus material. *J Exp Psychol*, *81*, 274-280.
- Riddoch, M. J., Humphreys, G. W., Coltheart, M., & Funnell, E. (1988). Semantic systems or system? Neuropsychological evidence re-examined. *Cogn Neuropsychol*, *5*(1), 3 - 25.
- Rudell, A. P. (1991). The Recognition Potential contrasted with the P300. *Int J Neurosci*, *60*(1), 85 - 111.
- Sabsevitz, D. S., Medler, D. A., Seidenberg, M., & Binder, J. R. (2005). Modulation of the semantic system by word imageability. *NeuroImage*, *27*(1), 188-200.
- Salmaso, D., & Longoni, A. M. (1985). Problems in the assessment of hand preference. *Cortex*, *21*(4), 533-549.
- Schwanenflugel, P. (1991). Why are abstract concepts hard to understand? In P. J. Schwanenflugel (Ed.), *The psychology of word meanings* (pp. 223-250). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Sereno, S. C., Rayner, K., & Posner, M. I. (1998). Establishing a time-line of word recognition: evidence from eye movements and event-related potentials. *Neuroreport*, *9*(10), 2195-2200.
- Sergent, J., Ohta, S., & Macdonald, B. (1992). Functional neuroanatomy of face and object processing: a positron emission tomography study. *Brain*, *115*(1), 15-36.
- Shibahara, N., & Lucero-Wagoner, B. (2002). Hemispheric asymmetry in accessing word meanings: concrete and abstract nouns. *Percept Mot Skills*, *94*, 1292-1300.
- Snodgrass, J. G., & Vanderwart, M. (1980). A standardized set of 260 pictures: norms for name agreement, image agreement, familiarity, and visual complexity. *J Exp Psychol Hum Learn*, *6*(2), 174-215.
- Stuss, D. T., Picton, T. W., & Cerri, A. M. (1986). Searching for the names of pictures: an event-related potential study. *Psychophysiology*, *23*(2), 215-223.
- Swaab, T. Y., Baynes, K., & Knight, R. T. (2002). Separable effects of priming and imageability on word processing: an ERP study. *Cogn Brain Res*, *15*(1), 99-103.
- Tainturier, M., Tamminen, J., & Thierry, G. (2005). Age of acquisition modulates the amplitude of the P300 component in spoken word recognition. *Neurosci Lett*, *379*(1), 17-22.
- Thompson-Schill, S. L. (2003). Neuroimaging studies of semantic memory: inferring "how" from "where". *Neuropsychologia*, *41*(3), 280-292.

- Tyler, L. K., & Moss, H. E. (2001). Towards a distributed account of conceptual knowledge. *Trends Cogn Sci*, 5(6), 244-252.
- van Hell, J. G., & de Groot, A. M. B. (1998). Disentangling context availability and concreteness in lexical decision and word translation. *Q J Exp Psychol*, 51A, 41-63.
- Warrington, E. K., & McCarthy, R. (1983). Category specific access dysphasia. *Brain*, 106(4), 859-878.
- Warrington, E. K., & Shallice, T. (1980). WORD-FORM DYSLEXIA. *Brain*, 103(1), 99-112.
- Warrington, E. K., & Shallice, T. (1984). Category specific semantic impairments. *Brain*, 107(3), 829-853.
- West, W. C., & Holcomb, P. J. (2000). Imaginal, semantic, and surface-level processing of concrete and abstract words: an electrophysiological investigation. *J Cogn Neurosci*, 12(6), 1024-1037.
- Wheatley, T., Weisberg, J., Beauchamp, M. S., & Martin, A. (2005). Automatic priming of semantically related words reduces activity in the fusiform gyrus. *J Cogn Neurosci*, 17(12), 1871-1885.
- Wilding, E. L., & Rugg, M. D. (1996). An event-related potential study of recognition memory with and without retrieval of source. *Brain*, 119(3), 889-905.
- Zevin, J. D., & Seidenberg, M. S. (2002). Age of acquisition effects in word reading and other tasks. *J Mem Lang*, 47(1), 1-29.
- Zhang, Q., Guo, C.-y., Ding, J.-h., & Wang, Z.-y. (2006). Concreteness effects in the processing of Chinese words. *Brain Lang*, 96(1), 59-68.