

## Il linguaggio del cervello

di *Kara D. Federmeier e Marta Kutas*

### 10.1

#### Introduzione

Il linguaggio offre agli esseri umani un incredibile grado di flessibilità rappresentativa. Sebbene l'adulto medio possa distinguere solo un numero limitato di suoni del "linguaggio parlato", in ciascuna lingua questi suoni vengono raggruppati ed ordinati per formare un insieme molto più grande di possibili parole. E, sebbene vi sia un limite al numero di singole parole che gli individui possono immagazzinare nella memoria a lungo termine ed avere prontamente a loro disposizione in ogni dato momento, le parole possono essere combinate a formare un numero infinito di frasi che descrivono eventi ed oggetti reali, immaginari ed impossibili, come pure emozioni ed innumerevoli altre nozioni.

È particolarmente sorprendente come molti umani apprendano questo complesso sistema di codifica già a livello precoce di età e lo utilizzino con facilità durante tutto l'arco della loro esistenza. Ogni giorno, gli umani producono e comprendono nuove stringhe di parole, ad un ritmo di circa 150 parole al minuto (Maclay, Osgood, 1959). Questo grado di complessità ed efficienza è una conseguenza dell'insieme della struttura del linguaggio e della struttura dell'entità che media l'elaborazione del linguaggio stesso, cioè il cervello umano. In questo capitolo, esamineremo il modo in cui negli studi sul linguaggio dell'elettrofisiologia cognitiva queste strutture vengono combinate.

#### 10.1.1. La struttura del linguaggio

Generalmente, i linguisti descrivono il linguaggio come un sistema costituito da parecchi livelli strutturali, non sempre esplicitamente manifesti. La fonetica è lo studio dei suoni del linguaggio parlato che

vengono utilizzati da tutti i linguaggi umani per rappresentare i significati; essa fornisce un mezzo per descrivere in che modo quei suoni vengono prodotti, trasmessi e percepiti. Per i parlanti di ogni dato linguaggio, i suoni (e le forme delle mani nella lingua dei segni) vengono ad essere sistematicamente organizzati, categorizzati ed interpretati. Cioè, varie combinazioni di diversi pattern di suoni reali (mediati da configurazioni del tratto vocale misurabilmente diverse) possono tutte produrre un suono che un parlante italiano interpreta come una "t" - i (diversi) suoni nelle parole "tavolo", "stop", e "gattino", ad esempio. La fonologia è lo studio delle configurazioni e dei sistemi di suoni del linguaggio umano e del tipo di conoscenza che gli individui hanno delle configurazioni di suoni della loro particolare lingua.

Le combinazioni di fonemi che possiedono un determinato significato sono note come "morfemi". Alcuni morfemi sono parole complete (ad es. "gatto"); altri sono affissi il cui significato serve a modulare il significato di parole complete (ad es. la /s/ che, quando aggiunta alla fine di una parola inglese, rende quella parola plurale). La morfologia, quindi, è lo studio delle configurazioni che governano la formazione di parole, incluso il modo in cui sono creati nuovi parole/morfemi (morfologia derivazionale), ed il modo in cui morfemi esistenti vengono combinati a creare diverse forme della stessa parola (morfologia inflessionale).

Allo stesso modo in cui i morfemi vengono combinati per creare nuove parole e nuove forme di parole, parole complete vengono combinate per produrre unità di linguaggio più lunghe - locuzioni, proposizioni, frasi e discorsi. Nell'ambito di una stessa lingua, e nelle diverse lingue, è strutturato il modo in cui certe parole e tipi di parole vengono ad essere messi insieme per creare queste unità linguistiche più lunghe. Le locuzioni vengono costruite attorno a particolari tipi di parole. Le locuzioni nominali (*noun phrase*), ad esempio, possono contenere parecchi tipi diversi di parole, ma debbono contenere almeno un nome e non contenere un verbo. In molte lingue, i tipi di parole che occorrono in una locuzione vengono anche in un certo ordine. In inglese, una locuzione nominale consisterà tipicamente di un determinatore<sup>1</sup> (a, the), seguito da uno o più aggettivi, seguito dal

1. Alcune parole funzionali poste all'inizio di un sintagma indicano il tipo di sintagma incontrato e, quindi, cosa viene richiesto alla sua fine. È questo il caso dei cosiddetti "determinatori" (ad es. gli articoli determinativo ed indeterminativo "the" - il/la - e "a" - uno/una -, e i pronomi "someone" - qualcuno/qualcuna - e "many" - molti/molte -. Nel caso degli esempi citati, i determinatori indicano un sintagma no-

sostantivo. In italiano, al contrario, il determinatore (un, il) è generalmente seguito dal sostantivo, e gli aggettivi, se ve ne sono, vengono per ultimi. Le locuzioni stesse agiscono come unità che possono essere trovate in molteplici posizioni in una frase – ad esempio, locuzioni nominali possono essere soggetti, oggetti o parti di locuzioni preposizionali. Tale studio della struttura della frase è noto come sintassi.

In definitiva, gli umani usano il linguaggio per trasmettere un'informazione specifica – il significato – che non dipende dalla configurazione generale di suoni o parole, ma dalle specifiche parole utilizzate, dallo loro specifica configurazione e dallo specifico contesto in cui essi occorrono (linguistico, sociale, ambientale). Lo studio del linguaggio in generale, la semantica, e del significato nel suo contesto più ampio, la pragmatica, si domandano in che modo viene usato il linguaggio per trasmettere e, in alcuni casi, distorcere la realtà.

Quindi, gli studi sul linguaggio umano rivelano molteplici livelli e tipi di struttura che possono aiutare a spiegare in che modo il linguaggio possa essere usato così prontamente ed efficientemente. Comunque, non può essere la sola struttura a rendere il linguaggio uno strumento così efficiente ed utile, poiché se questo fosse il caso sarebbe difficile comprendere perché solo gli umani arrivano a possedere abilità linguistiche pienamente sviluppate. Invece, deve essere la struttura del linguaggio in combinazione con quella del cervello umano che rende conto del modo in cui gli umani acquisiscono, usano e creano il linguaggio. La domanda che sorge, quindi, è: il cervello umano “vede” il linguaggio nel modo in cui lo vedono i linguisti?

#### 10.1.2. Comunicazione neurale: funzionamento del cervello e linguaggio

In parte, la risposta a questa domanda è certamente “sì”. A qualche livello, il cervello probabilmente elabora le configurazioni fonologiche in modo diverso da quelle sintattiche o semantiche, e deve esservi probabilmente qualche differenza tra l'elaborazione da parte del cervello di due suoni diversi, che in definitiva vengono trattati in modo identico, e due che invece vengono distinti. Molte delle configurazioni descritte dai linguisti corrispondono probabilmente a differenze significative nell'elaborazione cerebrale. Ad altri livelli, comunque, la

minale, inducendo quindi una specifica strategia percettiva e cognitiva. Cfr. per maggiori dettagli T. G. Bever (1976), in F. Antinucci, F. Castelfranchi (a cura di), *Psicolinguistica: percezione, memoria e apprendimento del linguaggio*, Il Mulino, Bologna, pp. 109-203 [N.d.C.].

risposta deve essere certamente “no”. I linguisti esaminano la competenza linguistica in opposizione alla prestazione; in genere, essi non sono interessati alle tematiche dell’elaborazione, e spesso, quindi, esaminano configurazioni condensate nello spazio e nel tempo. Comunque, l’elaborazione del linguaggio da parte del cervello ha luogo necessariamente nel tempo e nello spazio, ed entrambi sono probabilmente importanti. Ad esempio, input linguistici separati da diversi intervalli temporali, o che richiedono un diverso numero o una diversa grandezza di movimenti oculari saccadici, probabilmente vengono trattati differentemente dal cervello – sebbene, forse, non dai linguisti. Allo stesso tempo, forse non tutte le differenze notate dai linguisti sono sempre significative per tutte le aree del cervello. A livello precoce dell’elaborazione visiva, ad esempio, il cervello risponde in modo simile a stringhe di lettere che possono essere pronunciate (cioè stringhe fonologicamente “legali”) e quelle che non possono essere pronunciate (cioè stringhe “illegali”).

Il cervello non solo rappresenta il linguaggio, ma è anche coinvolto nella sua creazione e nel suo uso in tempo reale. Comprendere in che modo, richiede di conoscere qualcosa sul cervello e su quali regolarità il cervello stesso noti nel linguaggio, ed in quali circostanze. Quindi, i neuroscienziati cognitivi interessati all’elaborazione del linguaggio hanno iniziato a lavorare con un certo numero di tecniche di visualizzazione per immagini del cervello, di natura non invasiva, per ottenere un quadro del cervello stesso in azione mentre è impegnato nell’elaborazione del linguaggio. Questo capitolo passa in rassegna una di tali tecniche che fornisce una misura diretta dell’attività cerebrale con una fine risoluzione temporale.

### 10.1.3. La fisiologia dei potenziali cerebrali relati ad eventi (ERP)

Tra i vari tipi di segnali cerebrali che possono essere monitorati non invasivamente, i più diretti ed immediati sono di tipo elettrochimico. La comprensione e produzione del linguaggio sono delle funzioni cerebrali che richiedono l’attività coordinata di grossi gruppi di neuroni. Questa comunicazione neurale ha luogo attraverso variazioni ondulatorie del potenziale elettrico lungo i neuroni ed i loro processi (dendriti ed assoni). In condizioni normali (senza stimolazione), ciascun neurone ha un potenziale elettrico “di riposo” che si genera a causa della distribuzione di elementi (ioni) positivi e negativi all’interno ed all’esterno di esso. La stimolazione dei neuroni modifica la permeabilità della membrana neurale a questi elementi caricati elettricamente, alterando quindi il potenziale elettrico. Un aumento di poten-

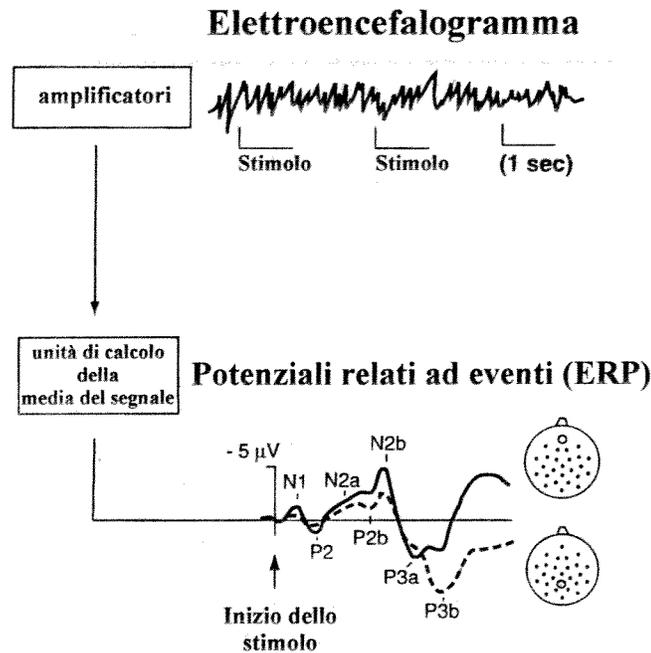
ziale transitorio (depolarizzazione) nel corpo cellulare può causare un "potenziale d'azione" tutto-o-nulla, un'onda di depolarizzazione che si muove lungo l'assone della cellula. Il potenziale d'azione può poi essere diffuso ad altri neuroni attraverso la liberazione dalla punta dell'assone di elementi chimici (neurotrasmettitori), che viaggiano nello spazio extracellulare e causano delle variazioni nella permeabilità dei dendriti dei neuroni limitrofi. Queste variazioni di permeabilità possono causare un potenziale d'azione anche nella cellula ricevente, o possono semplicemente alterare il potenziale elettrico di quella cellula in modo tale che essa sarà più o meno sensibile ad altra stimolazione.

La comunicazione neurale, quindi, coinvolge il flusso di particelle cariche attraverso le membrane neurali, che genera un potenziale elettrico negli elementi conduttori all'interno ed all'esterno della cellula. Questi flussi di corrente costituiscono la base delle registrazioni elettrofisiologiche effettuate nel cervello o sulla superficie del cuoio capelluto, dato che le variazioni di potenziale elettrico possono essere monitorate ponendo almeno due elettrodi in qualche punto sul capo (o nel cervello) e misurando la differenza di voltaggio tra essi. Il risultante elettroencefalogramma (EEG) osservato dal cuoio capelluto è dovuto alla somma dei potenziali di molteplici neuroni che agiscono di concerto. Infatti, molta dell'attività osservata in superficie deriva dalle cellule corticali piramidali la cui organizzazione e le cui proprietà di scarica soddisfano i vincoli necessari affinché si possa avere un segnale osservabile (cfr., ad es., Kutas, Dale, 1997 per maggiori dettagli).

L'EEG misura l'attività cerebrale spontanea ritmica che si verifica in molteplici bande di frequenza. Allo scopo di comprendere le basi neurali dell'elaborazione del linguaggio, comunque, siamo perlopiù interessati alla risposta del cervello ad un particolare evento o tipo di evento, come la comparsa di una parola sullo schermo di un computer. Per esaminare l'attività correlata ad eventi in particolare, si può mediare il segnale EEG sincronizzato (*time-locked*) con gli stimoli di interesse per creare un "potenziale relato ad eventi" o ERP. La FIG. 10.1 illustra il processo di derivazione degli ERP dall'EEG. L'ERP, quindi, è una forma d'onda che consiste di fluttuazioni di voltaggio nel tempo; una singola forma d'onda per ciascun sito di registrazione. In particolare, essa consiste in una serie di deflessioni del voltaggio ad andamento positivo e negativo (relative a qualche attività di base che precede l'inizio dell'evento). In diverse condizioni, si possono osservare delle modificazioni nella morfologia della forma d'onda (ad es. presenza o assenza di certi picchi), nella latenza, durata, o ampiezza

FIGURA 10.1

Derivazione del potenziale relativo ad eventi (ERP) dall'elettroencefalogramma (EEG) registrato dalla superficie del cuoio capelluto



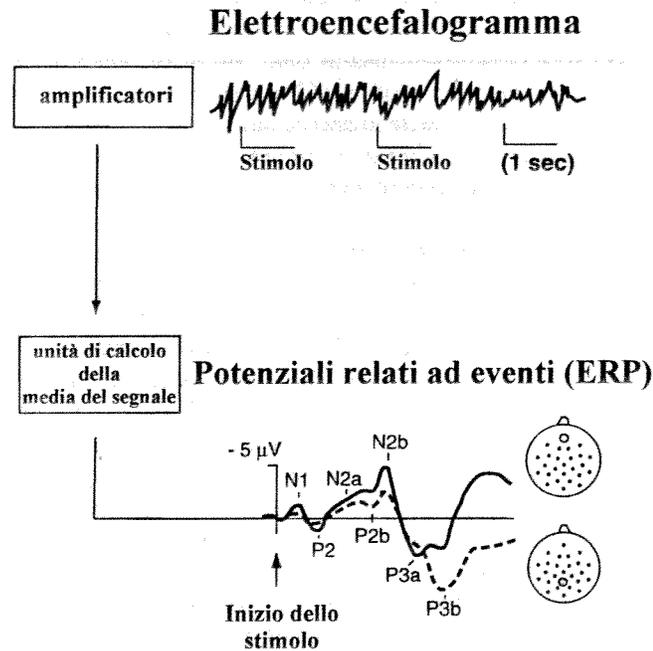
Sopra: L'attività elettrica registrata in forma analogica dalla superficie del cuoio capelluto viene amplificata e digitalizzata. L'ERP è in genere troppo piccolo per essere rilevato nell'EEG e richiede quindi di essere mediato nel corso di molte presentazioni dello stimolo per raggiungere rapporti segnale-rumore di fondo adeguati.

Sotto: Dopo essere stato mediato, l'ERP emerge come una forma d'onda con una varietà di picchi negativi e positivi sincronizzati con l'inizio dello stimolo. La linea continua rappresenta le registrazioni (in risposta ad un tono deviante) da un sito frontale della linea mediana, mentre la linea tratteggiata rappresenta la registrazione da un sito parietale posto sulla stessa linea. Il negativo è tracciato verso l'alto sia in questa che nelle figure successive.

(grandezza) di uno o più picchi, o nella loro distribuzione sul cuoio capelluto. Sino a poco tempo fa, le indagini elettrofisiologiche sul linguaggio si erano focalizzate sulle risposte ERP transienti relativamente veloci (ad alta frequenza); più recentemente, comunque, sono stati monitorati anche i potenziali più lenti che si sviluppano nel corso della somministrazione di proposizioni incidentali e delle frasi.

Gli ERP sono misure utili per lo studio dell'elaborazione del linguaggio perché rappresentano un segnale continuo e multidimensionale. Specificamente, essi danno una stima diretta di ciò che fa una

FIGURA 10.1  
Derivazione del potenziale relativo ad eventi (ERP) dall'elettroencefalogramma (EEG) registrato dalla superficie del cuoio capelluto



Sopra: L'attività elettrica registrata in forma analogica dalla superficie del cuoio capelluto viene amplificata e digitalizzata. L'ERP è in genere troppo piccolo per essere rilevato nell'EEG e richiede quindi di essere mediato nel corso di molte presentazioni dello stimolo per raggiungere rapporti segnale-rumore di fondo adeguati.

Sotto: Dopo essere stato mediato, l'ERP emerge come una forma d'onda con una varietà di picchi negativi e positivi sincronizzati con l'inizio dello stimolo. La linea continua rappresenta le registrazioni (in risposta ad un tono deviante) da un sito frontale della linea mediana, mentre la linea tratteggiata rappresenta la registrazione da un sito parietale posto sulla stessa linea. Il negativo è tracciato verso l'alto sia in questa che nelle figure successive.

(grandezza) di uno o più picchi, o nella loro distribuzione sul cuoio capelluto. Sino a poco tempo fa, le indagini elettrofisiologiche sul linguaggio si erano focalizzate sulle risposte ERP transienti relativamente veloci (ad alta frequenza); più recentemente, comunque, sono stati monitorati anche i potenziali più lenti che si sviluppano nel corso della somministrazione di proposizioni incidentali e delle frasi.

Gli ERP sono misure utili per lo studio dell'elaborazione del linguaggio perché rappresentano un segnale continuo e multidimensionale. Specificamente, essi danno una stima diretta di ciò che fa una

parte significativa del cervello prima, durante e dopo un evento di interesse, anche se esso si estende nel tempo. Inoltre, forniscono questa stima con la risoluzione temporale del millisecondo. Essi possono indicare non solo che due condizioni sono diverse, ma anche in che modo differiscono – se, ad esempio, vi è una modificazione quantitativa nel tempo di comparsa o nella grandezza di un processo, o una modificazione qualitativa riflessa da una diversa morfologia o da una diversa distribuzione sullo scalpo. In misura limitata, gli ERP possono anche essere utilizzati per esaminare dove hanno luogo i processi nel cervello (mediante tecniche di modellizzazione dell'origine (*source modelling techniques*) in combinazione con altre tecniche di visualizzazione neurale per immagini (*neuroimaging techniques*) (per un approfondimento, cfr. Kutas, Federmeier, Sereno, in stampa).

Usando tecniche ERP, i ricercatori hanno osservato l'elaborazione del linguaggio a partire dagli stadi precoci del riconoscimento di parole sino all'elaborazione di discorsi composti di molteplici frasi, dalla pianificazione dell'atto di un discorso, sino alla sua articolazione (ad es. Kutas, Van Petten, 1994; Osterhout, 1994; Osterhout, Holcomb, 1995). Così facendo, si trova che l'elaborazione del linguaggio da parte del cervello coinvolge numerosi tipi di operazioni che si verificano in momenti diversi e con scale temporali diverse. Queste operazioni differiscono a seconda che esse siano di carattere generale o specifiche del linguaggio, che vengano influenzate o meno dal contesto (in base anche a quale tipo di contesti esse sono sensibili), e a seconda che esse interagiscano l'una con l'altra nello spazio e nel tempo.

## 10.2

### Comprensione del linguaggio

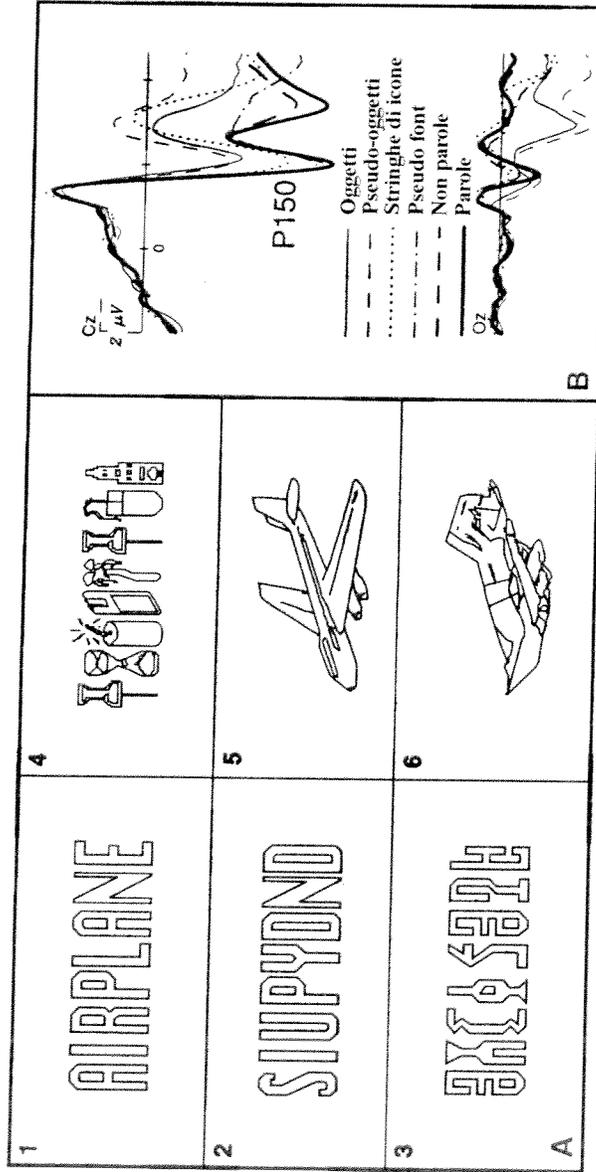
Inizialmente, il cervello non può sapere se uno stimolo in ingresso è linguistico o meno. Quindi, il suo primo compito, quando viene a confronto con una parola scritta, pronunciata o segnata – come con qualunque stimolo percettivo esterno – è determinare cos'è, o, almeno, a quali categorie possa appartenere. Questa decisione è cruciale e difficile; per elaborare effettivamente uno stimolo, l'attenzione deve essere appropriatamente distribuita sullo stimolo, certi tipi di informazione sulle caratteristiche devono essere estratti e possibilmente immagazzinati in memoria, si deve avere accesso all'informazione necessaria all'interpretazione dello stimolo nella memoria a lungo termine e così via. Dato che il cervello non sempre ignora quale tipo di stimolo, incontrerà in ogni dato momento, alcuni aspetti dell'elaborazione percettiva (specialmente precoce) sono probabilmente simili in-

dipendentemente dalla natura dello stimolo. A volte, le decisioni elaborative possono anche essere guidate da congetture su cosa sia lo stimolo, fondate sulla frequenza, sul carattere e su altre regolarità predittive. Quando possibile, il cervello fa uso di informazioni sia di tipo "dall'alto verso il basso" (top-down) (basate sul contesto o aspettative) che "dal basso verso l'alto" (bottom-up) (basate sullo stimolo) per guidare la sua analisi dell'input. Quindi, se una persona sta leggendo, o ascoltando un flusso di stimoli linguistici, è probabile che il suo cervello sia predisposto a trattare gli input in entrata come linguistici; in altri contesti, lo stesso input può inizialmente essere interpretato come non-linguistico (ad es. Johnston, Chesney, 1974). A seconda della ricchezza del contesto, il cervello può anche formarsi delle aspettative sulla natura fisica dello stimolo – colore, dimensione, carattere tipografico, volume, voce ecc. La modulazione dell'attenzione per tali parametri si riflette nelle variazioni di ampiezza delle componenti sensoriali precoci, come la P<sub>1</sub> e la N<sub>1</sub>, oppure della ND (*Negative Difference*) e della negatività di elaborazione (*processing negativity*) (cfr. il CAP. 6 del presente volume); le violazioni di tali aspettative nella modalità uditiva sono visibili a livello della MMN. A seconda delle aspettative del compito, possono esservi effetti anche sulle componenti cognitive tardive ERP, come la N<sub>2</sub>, la P<sub>3</sub> ecc.

#### 10.2.1. Dall'input al significato

Indipendentemente dalla natura o dal grado di informazione dall'alto verso il basso disponibile, comunque, il primo compito per la comprensione ottimale del linguaggio implica la classificazione sensoriale precoce degli stimoli. Nella modalità visiva, ad esempio, questo potrebbe includere la differenziazione di singoli stimoli oggettuali da stringhe linguistiche, di parole ortograficamente legali da quelle illegali, o di pseudo-parole dalle non-parole. Schendan, Ganis e Kutas (1998) hanno esaminato il decorso temporale di questo tipo di classificazione confrontando le risposte ERP a stimoli oggettuali (oggetti reali, pseudo-oggetti), verbali (parole, stringhe di lettere, stringhe di pseudo-caratteri tipografici) e stimoli intermedi (stringhe di icone) (cfr. FIG. 10.2). A circa 95 millisecondi, sui siti della linea mediana occipitale una negatività (N<sub>100</sub>) distingueva gli stimoli oggettuali dalle stringhe. Questa differenziazione è importante perché, come sostenuto dalla letteratura neuropsicologica, sono richieste risorse attenzionali diverse per elaborare insiemi di oggetti spazialmente distinti, opposti ad una singola forma spazialmente contigua, e questi processi sono mediati da aree cerebrali diverse (ad es. Farah, 1990). Questa

FIGURA 10.2  
ERP a stimoli visivi



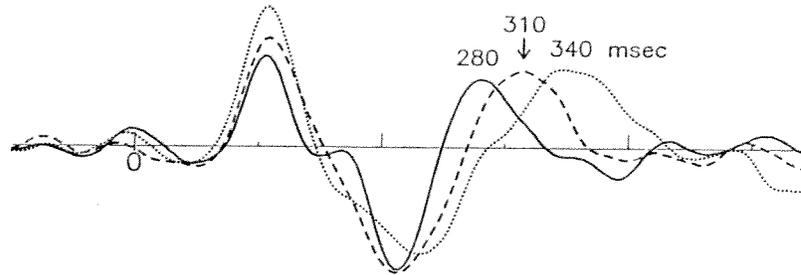
Esempi di stimoli presentati: parole (1), non parole (2), pseudo caratteri tipografici (3), stringhe di icone (4), oggetti (5) e pseudo-oggetti (6), e delle grandi medie ERP associate, ottenute da un sito elettrodo centrale (Cz) ed occipitale (Oz) della linea mediana. La P150 è grande per gli stimoli in forma di stringa (parole, non parole e pseudo-caratteri tipografici), piccola per gli stimoli oggettuali (oggetti e pseudo-oggetti), ed intermedia per le stringhe di icone.  
Fonte: esempi ripresi da Schendan *et al.* (1998) con il permesso della Cambridge University Press.

classificazione era presto seguita da una distinzione tra stringhe composte di vere lettere (parole o pseudo-parole) e quelle composte da altri caratteri (stringhe di icone e pseudo-caratteri tipografici), suggerendo così che il sistema visivo di lettori esperti ha sviluppato l'abilità di rilevare rapidamente gli stimoli fisici con le proprietà di lettere reali. Seguiva una distinzione tra parole e pseudo-parole, che iniziava approssimativamente 200 millisecondi dopo l'inizio dello stimolo. Decorsi temporali di analisi e categorizzazioni simili sembrano valere anche per gli input uditivi; ad esempio, gli ERP per parole con significato o prive di senso sono molto simili entro i primi 150 millisecondi di elaborazione, mentre iniziano ad essere distinguibili a circa 200-250 millisecondi (Novick *et al.*, 1985).

Sebbene gli ERP forniscano un mezzo temporalmente molto preciso per determinare, al più tardi, quando il cervello deve aver compreso la differenza tra due condizioni o due stimoli, essi non forniscono un chiaro modo di prevedere che cosa quella differenza significhi né la misura in cui l'informazione su quella differenza sarà disponibile o verrà utilizzata in ulteriori elaborazioni. Quindi, il fatto che l'elaborazione di parole reali e di pseudo-parole diverga a qualche livello intorno ai 200-250 millisecondi, non necessariamente significa che il cervello abbia identificato un tipo di stimolo come una parola e l'altro come una non-parola (allo stesso modo in cui un linguista o uno psicolinguista potrebbe fare). Invece, il cervello potrebbe aver avuto una maggiore esposizione ad una classe di stimoli piuttosto che all'altra, o aver compreso che una classe stimolo contiene combinazioni di lettere più inusuali (infrequenti). Infatti, le pseudo-parole pronunciabili continuano ad essere elaborate in modo molto simile alle parole reali (in termini di componenti elicitate, sebbene non necessariamente nella loro ampiezza e latenza) per parecchie centinaia di millisecondi in più. Diversamente dalle non-parole, ma in modo simile agli stimoli "significativi" che includono parole reali, le pseudo-parole pronunciabili elicitano una negatività che ha il suo picco approssimativamente 400 millisecondi dopo l'inizio dello stimolo (N<sub>400</sub>). Quindi, sembrerebbe che almeno alcuni dei circuiti di elaborazione del cervello si occupino delle pseudo-parole, che non hanno un particolare significato appreso, in modo non diverso da quanto fanno per un certo periodo di tempo dopo una differenziazione iniziale con le parole reali. Come suggerito in precedenza, quindi, la differenziazione osservata può avere non tanto a che fare con l'opposizione di "parole" e "non-parole", quanto con il livello di precedente esposizione. La ricerca ERP con bambini il cui linguaggio e/o capacità di lettura sono in via di acquisizione, come pure con adulti che stan-

FIGURA 10.3

La negatività di elaborazione lessicale (LPN) è sensibile alla frequenza delle parole



..... **Frequenza Bassa** (< 10 per milione)  
 - - - - **Frequenza Media** (~ 700 per milione)  
 ——— **Frequenza Alta** (> 10000 per milione)

Grandi medie ERP ottenute da un sito anteriore di sinistra in risposta a parole, presentate una alla volta, che facevano parte di frasi lette per essere poi comprese. Sovrapposti tra loro sono gli ERP (filtrati mediante un filtro digitale passa-alto\* a 4 Hz) per parole raggruppate in funzione della loro frequenza di occorrenza nella lingua inglese. La latenza del picco negativo (LPN) è lunghissima per parole a bassa frequenza e brevissima per parole ad alta frequenza.

\* Il filtro digitale passa alto è un filtro computerizzato che discrimina i segnali bioelettrici rapidi da quelli lenti e che lascia passare preferenzialmente i segnali bioelettrici rapidi, o ad elevata frequenza, attenuando invece quelli lenti. Nel caso indicato il filtro ha riprodotto i segnali ottenuti con una frequenza maggiore di 4 Hz, attenuando i cosiddetti potenziali lenti con una frequenza di comparsa inferiore [N.d.C.].

Fonte: dati ripresi da King, Kutas (1998b). Figura ripresa da Kutas, Federmeier, Coulson *et al.*, in stampa; ristampata con il permesso della Cambridge University Press.

no apprendendo una seconda lingua, può fornire un mezzo per esaminare queste ipotesi (Mills *et al.*, 1997; Neville *et al.*, 1997; Weber-Fox, Neville, 1996). Rispondere a tali domande, quindi, rappresenta una delle maggiori sfide della neurolinguistica cognitiva.

È all'incirca nel momento in cui la risposta del cervello alle parole sembra deviare da quella alle pseudo-parole che gli ERP mostrano anche una sensibilità alla frequenza d'uso in una data lingua (Francis, Kucera, 1982) – o, dal punto di vista del cervello, alla probabilità indipendente dal contesto di incontrare una particolare parola. King e Kutas (1998b) hanno trovato che la latenza di una negatività anteriore lateralizzata a sinistra (che essi hanno definito *negatività di elaborazione lessicale*, o LPN – *Lexical Processing Negativity*), che si verifica tra 200 e 400 millisecondi dopo l'inizio dello stimolo, è fortemente correlata alla frequenza d'uso (cfr. FIG. 10.3). In breve, sembra che il

cervello elabori più rapidamente parole di cui ha avuto esperienza di elaborazione. King e Kutas (1998b) hanno suggerito che almeno alcune delle differenze riportate tra l'elaborazione di parole appartenenti a "classi aperte" (*open class* – nomi, verbi, aggettivi, avverbi) o a "classi chiuse" (*closed class* – determinatori, articoli, preposizioni) (Neville *et al.*, 1992) erano dovute alle differenze nella loro frequenza media e alle conseguenze che ciò aveva sulla loro elaborazione neurale precoce (cfr. anche Osterhout *et al.*, 1996).

È importante sottolineare, comunque, che non vi è un singolo momento o un singolo punto in cui la "frequenza della parola" viene elaborata e/o immagazzinata. Al contrario, la frequenza della parola influenza molteplici stadi di elaborazione, inclusa l'identificazione della parola stessa, l'accesso all'informazione fonologica o semantica associata nella memoria a lungo termine, il mantenimento della forma della parola o dell'informazione associata nella memoria di lavoro (*working memory*) ecc. Infatti, i risultati ERP dimostrano chiaramente che la frequenza della parola ha effetti diversi nel corso della ulteriore elaborazione di una parola. Ad esempio, con tutti gli altri fattori mantenuti costanti (specialmente in assenza del contesto semantico), l'ampiezza della N<sub>400</sub> varia in funzione inversa rispetto alla frequenza della parola (Van Petten, Kutas, 1991). Come verrà discusso in seguito, la N<sub>400</sub> sembra essere collegata all'accesso dell'informazione semantica nella memoria a lungo termine e/o all'integrazione di questa informazione in un contesto più ampio. Questo stadio di elaborazione è influenzato anche dall'informazione più "immediata" o locale sulla frequenza – cioè, dalla ripetizione nel contesto sperimentale (ad es. Rugg, 1985). In modo simile agli effetti dell'informazione sulla frequenza globale, la ripetizione riduce, tra altre componenti, l'ampiezza dell'attività N<sub>400</sub> (Van Petten *et al.*, 1991).

#### 10.2.2. Modalità di elaborazione

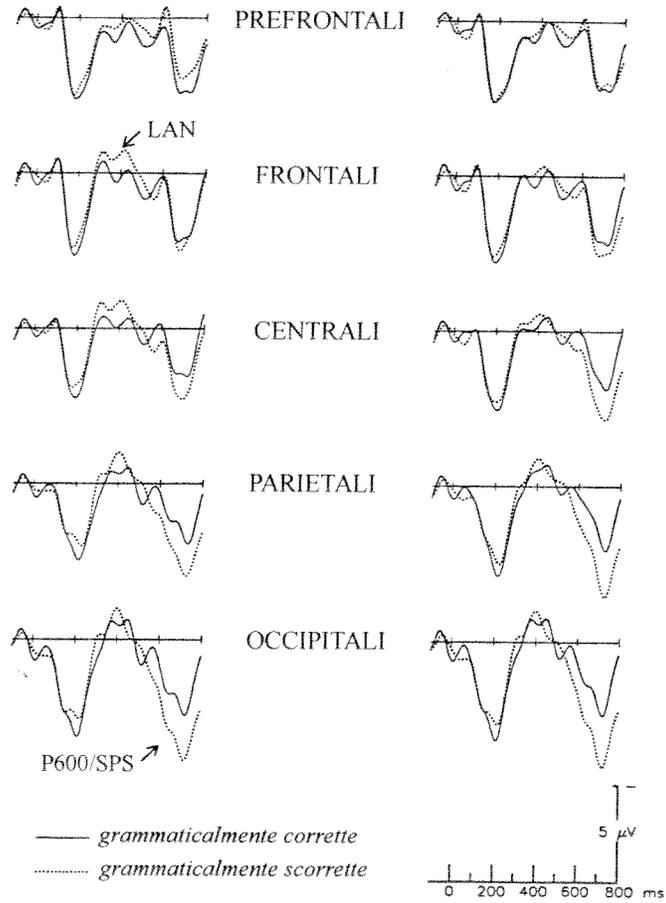
Il fatto che una parola venga incontrata frequentemente o sia stata appena incontrata, quindi, influenza il modo in cui viene elaborata dal cervello. Inoltre, influenza l'elaborazione in diversi momenti e, probabilmente, in diversi modi; l'intervallo temporale dall'ultima ripetizione, il numero di ripetizioni e il contesto entro il quale la ripetizione occorre sono tutti fattori importanti (Besson, Kutas, 1993; Besson *et al.*, 1992; Young, Rugg, 1992). Effetti come questi probabilmente valgono per unità di linguaggio più grandi delle parole – ad es. combinazioni di parole frequenti ed infrequenti, strutture sintattiche frequenti od infrequenti ecc. Infatti, i dati ERP suggeriscono, ad

esempio, che il cervello è sensibile alla probabilità della relazione tra un pronome ed il suo antecedente. Quando un titolo occupazionale (ad es. “segretaria”) viene accoppiato con il pronome più “probabile” (secondo i dati del censimento USA), cioè “ella”, intorno ai 200 millisecondi, sui siti anteriori di sinistra viene osservata una minore negatività (LAN – *Left Anterior Negativity*) di quando la stessa occupazione viene accoppiata con il pronome meno probabile, cioè “egli” (King, Kutas, 1998a). In quest’ultimo caso, il cervello può assumere che “egli” si riferisca ad un nuovo partecipante, dato che la coppia pronome-antecedente sembra meno probabile; l’incremento di negatività può, quindi, riflettere il carico di memoria di lavoro associato con il mantenimento dell’informazione su due partecipanti rispetto a quella su uno solo. In un disegno sperimentale piuttosto simile, che utilizzava pronomi riflessivi, Osterhout, Bersick e McLaughlin (1997) hanno trovato che i pronomi discordanti con la definizione di genere o con lo stereotipo di genere di un nome antecedente elicitarono una grossa positività (cioè la P600 tipicamente associata con violazioni sintattiche). Il punto importante, comunque, è che i pronomi elicitano degli effetti ERP attendibili che possono essere usati per indagare il loro legame con i nomi ai quali si riferiscono – un legame che chiaramente dipende dalla memoria di lavoro.

Anche la probabilità può svolgere un ruolo importante nell’elaborazione da parte del cervello degli aspetti sintattici di una frase. È stato trovato che vari tipi di violazioni sintattiche elicitano una positività tardiva chiamata P600 o *variazione positiva sintattica* (SPS, *Syntactic Positive Shift*) (ad es. Coulson *et al.*, 1998a; Hagoort *et al.*, 1993; Neville *et al.*, 1991; Osterhout, Holcomb, 1992). Questa positività ha una latenza di inizio variabile (generalmente tardiva) ed un punto mediano attorno ai 600 millisecondi – sebbene questo possa variare con la complessità della struttura linguistica implicata (Munte *et al.*, 1997). La sua distribuzione è più spesso posteriore, sebbene siano stati riportati anche degli effetti anteriori. La FIG. 10.4 ne mostra un esempio. La P600 viene tipicamente osservata quando qualche aspetto della struttura della frase viola le regole del linguaggio – ad esempio se i soggetti non concordano in numero con i loro verbi (“essi è”), se i pronomi hanno il caso errato (“the plane took WE to Italy”, cioè, “l’aereo portò NOI in Italia”) <sup>2</sup>, o se gli item non sono in ordine all’interno delle frasi (“la prova Max di del teorema”). È importante

2. Il pronome WE (noi) in questa frase è errato essendo usato il caso nominativo invece che accusativo US (ci) [N.d.C.].

FIGURA 10.4  
La P600 e la LAN



Grandi medie ERP per parole target contenute in frasi grammaticalmente corrette (linea continua) e scorrette (linea tratteggiata). Rispetto alle frasi corrette, gli ERP per stimoli non corretti erano associati ad un lieve aumento di negatività (LAN) nella finestra temporale tra 300-500 millisecondi, e, subito dopo, ad un aumento di positività (P600).

Fonte: dati ripresi da Coulson *et al.* (1998), ristampato con il permesso della Psychology Press.

notare comunque che la P600 non dipende dalla presenza di una violazione grammaticale; viene infatti elicitata anche da punti che presentano una certa difficoltà di elaborazione, dove la difficoltà origina dall'elaborazione a livello grammaticale o strutturale. Sebbene queste manipolazioni siano tutte "sintattiche" per i linguisti, esse differiscono significativamente l'una dall'altra in modi che sono probabilmente importanti per il cervello – ad esempio, alcune, come le violazioni della struttura della frase, dipendono dalla posizione della parola, mentre altre, come la concordanza soggetto-verbo, dipendono dalla relazione tra parole in modo relativamente indipendente dalla posizione.

Cosa può indicizzare la P600, quindi? Un'indicazione deriva dal recente lavoro di Coulson *et al.* (1998a) che ha esaminato la risposta alle violazioni sintattiche (più specificamente violazioni del caso del pronome e della concordanza soggetto-verbo) per violazioni che fossero frequenti oppure infrequenti in una determinata sequenza sperimentale. Gli autori hanno osservato una risposta P600 più ampia in prove grammaticalmente non corrette rispetto a quelle corrette, sebbene gli eventi non corretti infrequenti elicitassero delle P600 di maggiore ampiezza di quelli che si verificavano frequentemente. Inoltre, anche gli eventi grammaticalmente corretti elicitavano qualche attività P600 quando si verificavano di rado fra molte frasi grammaticalmente scorrette (per un'ulteriore discussione cfr. Coulson *et al.*, 1998b; Gunter *et al.*, 1997; Munte *et al.*, 1998; Osterhout, Hagoort, 1999; Osterhout *et al.*, 1996).

Sembra, quindi, che la parte del cervello sensibile alle violazioni sintattiche sia anche sensibile alla probabilità di queste violazioni. Si noti che, tipicamente, la P600 non viene elicitata da eventi semanticamente improbabili. Invece, sembra essere elicitata nel modo più attendibile dalle probabilità delle configurazioni morfo-sintattiche di vario tipo, ed essere estremamente rispondente ad esse. Questo può suggerire che, almeno a qualche livello, l'elaborazione della sintassi ha luogo facendo riferimento alla frequenza relativa (percepita?) delle varie regolarità del linguaggio, una frequenza che viene continuamente aggiornata con l'esperienza. Molto lavoro rimane ancora da fare per dettagliare la sensibilità dell'ampiezza della P600 alle variabili non linguistiche.

### 10.2.3. Significato e memoria

Queste osservazioni suggeriscono che il cervello è sensibile alla frequenza delle particolari configurazioni ed alla recenza dell'esposizione

ad esse. I fattori a cui è sensibile il cervello spaziano, quindi, dalla probabilità di incontrare un particolare stimolo fisico alla probabilità di quegli stimoli di configurarsi in un modo particolare l'uno rispetto all'altro in una proposizione o una frase. Questi ultimi risultati mettono in luce anche un altro importante aspetto del linguaggio, cioè il bisogno di elaborare delle relazioni tra gli item, a diversi livelli di astrazione. In particolare, per dare senso all'input linguistico, il cervello ha bisogno: *a*) di mettere in relazione vari tipi di parole l'una con l'altra, e *b*) di mettere in relazione parole e gruppi di parole con la conoscenza del mondo reale immagazzinata nella memoria a lungo termine. La ricerca ERP correlata al linguaggio è stata indirizzata a delineare il decorso temporale dei processi implicati nel risolvere il mappaggio ed i problemi integrativi sollevati da ciascuno di questi bisogni.

A seconda della specifica modalità, durante la presentazione di molteplici parole separate dal tempo e/o dallo spazio, emergono molte configurazioni linguistiche. È necessario che le relazioni elaborative tra questi item vengano mantenute dal cervello in qualche tipo di magazzino temporaneo o "memoria di lavoro". Anche frasi dichiarative semplici (ad es. "A John piace veramente il suo cagnolino") richiedono risorse della memoria di lavoro. Quanto meno, "John" deve essere mantenuto in memoria in modo che il lettore/ascoltatore conosca a chi ci si riferisce quando viene incontrato il pronome "suo". Deve essere mantenuta nella memoria di lavoro anche qualche informazione sul fatto che "John" è un soggetto singolare per sapere che "piace", e non "piacciono", è la forma corretta del verbo, e così via. Mentre tutte le frasi sfruttano la memoria di lavoro, alcune di esse richiedono chiaramente più risorse della memoria di lavoro di altre. Ad esempio, una frase contenente una proposizione relativa (come "Il cronista che seguiva il senatore ammise l'errore") richiede tipicamente più risorse di memoria di lavoro di una semplice frase dichiarativa, in parte perché un partecipante ("il cronista") è implicato in due proposizioni/azioni ("seguire" ed "ammettere"). Si presume, comunque, che queste "proposizioni relative al soggetto" (così chiamate perché il soggetto è lo stesso sia nella proposizione principale che nella proposizione relativa) richiedano minori risorse di memoria di lavoro delle proposizioni relative all'oggetto, come ad esempio "Il cronista che il senatore seguiva ammise l'errore". Nelle proposizioni relative all'oggetto, il soggetto della proposizione principale ("Il cronista") deve essere mantenuto distinto dal soggetto della proposizione relativa ("il senatore").

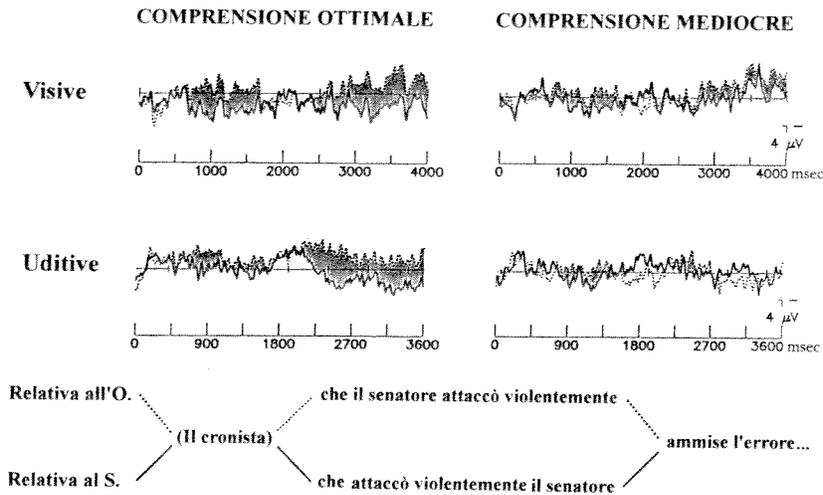
Esaminando frasi che variano nel grado di risorse di memoria di

lavoro richiesto, si può esaminare la natura della risposta del cervello al carico di memoria di lavoro (Friederici *et al.*, 1998; King, Kutas, 1995; Kutas, King, 1996; Mecklinger *et al.*, 1995; Muller *et al.*, 1997). Inoltre, si può valutare la variazione individuale della risposta del cervello a frasi di complessità strutturale variabile in funzione della quantità di risorse di memoria di lavoro disponibile (ad es. confrontando individui con uno *span*<sup>3</sup> di memoria di lavoro sia elevato che scarso con quelli che hanno minori risorse di memoria di lavoro). Ad esempio, King e Kutas (1995) hanno confrontato le risposte ERP a frasi relative al soggetto e all'oggetto lette una parola alla volta. Individui con comprensione ottimale (*good comprehenders*) elicitarono maggiori negatività del lobo frontale sinistro in risposta alla seconda locuzione nominale ("il senatore") nella relativa all'oggetto rispetto alle proposizioni relative al soggetto. Questo è il punto nella frase dove, nel caso delle relative all'oggetto, deve essere immagazzinato nella memoria di lavoro un secondo soggetto. In contrasto, la risposta di individui con una mediocre comprensione (*poor comprehenders*) (con minori risorse di memoria di lavoro) era abbastanza negativa in risposta ad entrambi i tipi di frasi; quindi, sembrava che, negli individui con una mediocre comprensione, entrambi i tipi di frasi imponessero un costo sulle risorse di memoria di lavoro. Effetti simili sono stati osservati per queste stesse frasi presentate in forma di linguaggio naturale (Muller *et al.*, 1997). Questi risultati conducono all'ipotesi che l'effetto anteriore di sinistra rifletta delle operazioni generali della memoria di lavoro, opposte a quelle specifiche di una modalità. Una simile negatività anteriore lateralizzata a sinistra (effetto LAN) è stata osservata anche per l'elaborazione di dipendenze non restrittive (Kluender, Kutas, 1993). Un esempio di ciò può essere visto nelle interrogative "chi" in inglese (*who-questions*) (ad es. "Chi curò il dottore?") in cui l'elemento interrogativo (in questo caso la parola "chi", il "riempitivo") appare all'inizio della frase lasciando una "lacuna" sull'ordine canonico della parola (che in inglese è soggetto-verbo-oggetto). Un altro esempio deriva dall'ordine delle parole non comuni (e quindi difficili) in tedesco (Roesler *et al.*, 1998). Il ruolo delle operazioni della memoria di lavoro nell'elaborazione di frasi può essere esaminato anche semplicemente aggiungendo una proposizione irrilevante, o che necessita di elaborazione, ad una frase transitiva semplice (Gunter *et al.*, 1995).

L'ampia natura delle varie operazioni della memoria di lavoro si

3. Lo *span* è la capacità del magazzino di memoria a breve termine [N.d.C.].

FIGURA 10.5  
Memoria di lavoro ed elaborazione di frasi



Confronto delle grandi medie ERP per frasi relative al soggetto (linea continua) e all'oggetto (linea punteggiata) ottenute da un sito anteriore di sinistra. I dati degli individui con comprensione ottimale sono mostrati a sinistra, mentre quelli degli individui con una mediocre comprensione sono sulla destra. Le frasi visive venivano presentate una parola alla volta, mentre le frasi uditive venivano presentate in forma di linguaggio naturale. L'ombreggiatura rappresenta l'area in cui le frasi relative all'oggetto erano attendibilmente più negative delle frasi relative al soggetto.

Fonte: i dati visivi sono ripresi da Kutas, King, (1996), mentre quelli uditivi sono ripresi da Muller *et al.* (1997). Figura ripresa da Kutas, Federmeier, Youlson *et al.*, in stampa; ristampata con il permesso della Cambridge University Press.

manifesta anche negli effetti meno transienti di potenziali lenti (potenziali di lunga durata nell'ordine dei secondi). Ad esempio, in risposta a proposizioni relative al soggetto, in opposizione all'oggetto, discusse sopra, individui con comprensione ottimale mostrano una variazione positiva lenta sui siti frontali che perdura per la durata della proposizione relativa ed oltre; individui con una comprensione mediocre non mostrano questa positività lenta o questa differenza (Kutas, King; 1996; cfr. la FIG. 10.5). Questa differenza ERP correlata alla comprensione si evidenzia anche con frasi transitive semplici, in cui gli individui con comprensione ottimale mostrano una variazione positiva frontale molto maggiore degli individui con una comprensione mediocre. Allo stesso tempo, questi ultimi mostrano un aumento delle componenti visive sensoriali precoci come la P<sub>1</sub>-N<sub>1</sub>-P<sub>2</sub>. Ciò suggerisce che tali individui possano aver dedicato maggiori risorse all'elaborazione percettiva di livello inferiore rispetto agli individui

con comprensione ottimale, avendo quindi minori risorse da dedicare ai processi linguistici di ordine superiore (che possibilmente richiedano memoria di lavoro). I potenziali di individui anziani normali per frasi sia transitive che relative all'oggetto rassomigliano moltissimo a quelli di individui più giovani con una comprensione mediocre (Kutas, King, 1996).

In generale, questi risultati sostengono le osservazioni originariamente fatte nella letteratura comportamentale secondo cui la comprensione ottimale del linguaggio implica l'immagazzinamento ed il recupero dell'informazione dalla memoria di lavoro (ad es. Carpenter, Just, 1989; Daneman, Carpenter, 1980; Daneman, Merikle, 1996). Il cervello può elaborare le relazioni critiche tra gli stimoli sensoriali distribuiti nel tempo e nello spazio solo attraverso l'uso della memoria di lavoro. Inoltre, questi risultati suggeriscono anche che l'elaborazione relazionale ottimale può richiedere risorse attentive più generali. Se deve essere prestata più attenzione ai processi percettivi di livello inferiore necessari per la comprensione del linguaggio, sono disponibili minori risorse attentive per le operazioni della memoria di lavoro particolarmente critiche per l'elaborazione delle strutture complesse del linguaggio.

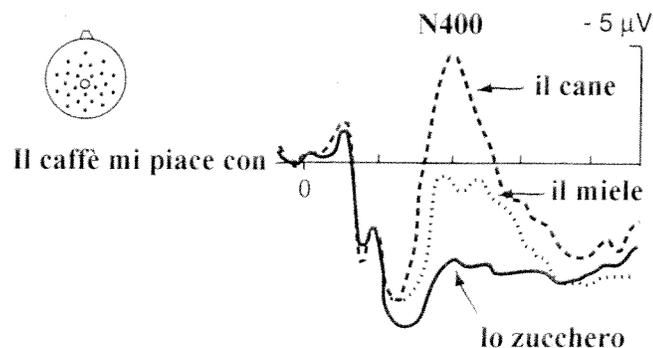
Mentre l'elaborazione delle relazioni tra gli item è cruciale per la comprensione ottimale del linguaggio, nella sua essenza il linguaggio implica l'elaborazione di un altro tipo di relazione – la relazione tra gli elementi del linguaggio e la conoscenza del mondo reale immagazzinata nella memoria a lungo termine (cfr. McKoon, Ratcliff, 1998). Le parole sono dei simboli – cioè sono associate ad un'informazione che non è contenuta nella forma fisica della parola stessa. È stato suggerito che l'abilità umana di ricordare, trasformare e combinare flessibilmente migliaia di simboli è ciò che ci distingue particolarmente dalle altre specie (ad es. Deacon, 1997). A livello di elaborazione precoce, le parole sono solamente oggetti percettivi le cui proprietà visive od acustiche devono essere elaborate sufficientemente da permetterne la categorizzazione e l'identificazione. Alla fine, comunque, le parole servono come puntatori per accedere alla vasta quantità di informazioni immagazzinate nella memoria a lungo termine. Le informazioni associate ad una parola derivano da molte modalità (ad es. la forma ed il colore di una carota, il suo odore, il suo gusto, la sua consistenza e levigatezza, il suono croccante prodotto quando la si mangia ecc.) ed arrivano ad essere associate con la forma della parola attraverso l'esperienza. La natura dell'organizzazione della memoria a lungo termine, i tipi di informazioni immagazzinate e la mi-

sura in cui si ha accesso a diversi tipi di informazione in varie condizioni sono tutti aspetti controversi.

Riflettendo gli interessi della psicolinguistica in generale, molte indagini ERP hanno mirato a determinare quali tipi di informazione sulle parole vengano tipicamente recuperati durante la lettura e l'ascolto, nonché il decorso temporale con cui questa informazione viene recuperata. Inoltre, data la sua potenzialità unica di seguire il livello di elaborazione delle parole, delle frasi e del discorso con uguale risoluzione, la tecnica ERP è stata diretta a determinare in che modo l'informazione recuperata dalle varie parole di una frase viene in definitiva combinata in un singolo messaggio. I dati ERP suggeriscono come il cervello sia chiaramente sensibile ad alcuni aspetti del significato almeno 250-300 millisecondi dopo l'inizio dello stimolo. In questa finestra temporale, le risposte del cervello a parole (e a pseudo-parole pronunciabili) in tutte le modalità (parlata, stampata e segnata) (ad es. Holcomb, Neville, 1990; Kutas *et al.*, 1987; Kutas, Hillyard, 1980a, 1980b), a figure (Ganis *et al.*, 1996; Nigam *et al.*, 1992), a facce (Barrett, Rugg, 1989; Bobes *et al.*, 1994; Debruille *et al.*, 1996), e a suoni ambientali significativi (Chao *et al.*, 1995; Van Petten, Rieffelder, 1995) contengono una negatività con una distribuzione posteriore sullo scalpo, lievemente spostata verso l'emisfero destro. Nel giro fusiforme di pazienti con elettrodi impiantati per localizzare l'attività di scarica epilettica vengono osservati dei potenziali con la stessa latenza, sensibili a variabili semantiche (ad es. McCarthy *et al.*, 1995; Nobre, McCarthy, 1995). Questa cosiddetta componente N<sub>400</sub> è stata menzionata in precedenza nella discussione degli effetti della frequenza e della ripetizione, dato che la sua ampiezza varia con entrambe. Nei bambini e negli adulti sani, la N<sub>400</sub> sembra essere la normale risposta a stimoli che convogliano significato – o che potrebbero convogliare significato, come nel caso di pseudo-parole pronunciabili. Alcuni hanno suggerito che la N<sub>400</sub> rifletta qualche tipo di ricerca nella memoria semantica a lungo termine; infatti, la sua ampiezza varia in funzione di fattori che influenzano anche la memoria, come il numero di item da ricordare (Stuss *et al.*, 1986) e la durata del ritardo tra le presentazioni di un item (ad es. Chao *et al.*, 1995). La sua ampiezza si riduce, e la sua latenza si prolunga, a causa del normale invecchiamento, ed ancor di più nelle diverse forme di demenza (ad es. Iragui *et al.*, 1996; Iragui *et al.*, 1993).

Abbiamo suggerito che la N<sub>400</sub> indicizza qualche aspetto del significato perché la sua ampiezza è modulata dagli aspetti semantici di un precedente contesto, sia esso una singola parola, una frase o un discorso di più frasi. Ad esempio, l'ampiezza della N<sub>400</sub> in risposta

FIGURA 10.6  
La N<sub>400</sub>



Grandi medie ERP elicitate dalle parole finali di frasi che mostrano, nella stessa finestra temporale, una positività tra 250-500 millisecondi nel caso di parole predicibili (linea continua) ed una N<sub>400</sub> nel caso di parole semanticamente anomale (linea tratteggiata). Una parola meno predicibile, ma congruente (linea punteggiata), produceva un effetto della N<sub>400</sub> di grandezza intermedia.

Fonte: Kutas, Hillyard (1984).

ad una parola di una lista è ridotta se questa parola è preceduta da una parola con un significato simile (ad es. l'ampiezza della N<sub>400</sub> in risposta alla parola "cane" è ridotta quando quest'ultima è preceduta dalla parola "gatto", rispetto a ciò che si verifica, invece, in risposta alla parola "tazza") (Brown, Hagoort, 1993; Holcomb, Neville, 1990). Nella stessa finestra temporale, l'attività del cervello è sensibile anche alle relazioni fonologiche ed ortografiche tra le parole (Barrett, Rugg, 1990; Polich *et al.*, 1983; Praamstra *et al.*, 1994; Rugg, 1984a; 1984b; Rugg, Barrett, 1987). Similmente, l'ampiezza della N<sub>400</sub> ad una parola in una frase è ridotta nella misura in cui la parola è compatibile con il contesto semantico corrente. Un'anomalia (ad es. "Egli prende il caffè con latte e CANE") elicitava la massima N<sub>400</sub>. Parole non anomale ma meno probabili (ad es. "Egli prende il caffè con latte e MIELE") generano minore attività N<sub>400</sub> delle anomalie, ma di ampiezza maggiore rispetto a parole finali più probabili (ad es. "Egli prende il caffè con latte e ZUCCHERO"); la FIG. 10.6 mostra un esempio di questo effetto) (Kutas, Donchin, 1980; Kutas, Hillyard, 1980a, 1980b, 1984; Kutas *et al.*, 1984). L'ampiezza della risposta N<sub>400</sub> è influenzata anche da fattori più generali a livello del discorso. In quanto frasi singole, sia "il topo andò velocemente nella sua tana" che "il topo andò lentamente nella sua tana" sono congrue. Tuttavia, in un contesto più ampio del discorso (ad es. "Vagando in cerca di una preda

sotto il tavolo della cucina, il gatto sorprese un topo che mangiava briciole. Il topo...”), i due avverbi (velocemente e lentamente) non sono più attesi in modo analogo; infatti, in questo tipo di contesto la risposta N<sub>400</sub> a “lentamente” è maggiore della risposta a “velocemente” (Van Berkum *et al.*, in stampa). Quindi, almeno intorno a 400 millisecondi, fattori lessicali, fraseologici e discorsivi sembrano convergere nell’influenzare la comprensione del linguaggio, e lo fanno in modo simile. Quando sono presenti sia fattori lessicali che fraseologici, sembra che essi influenzino l’ampiezza della N<sub>400</sub> in modo indipendente (Kutas, 1993; Van Petten, 1993, 1995; cfr. anche Fischler *et al.*, 1985, per una conclusione simile). La relazione della N<sub>400</sub> con i processi integrativi semantici è ulteriormente sostenuta dall’osservazione che la sua ampiezza è molto attenuata e la sua latenza ritardata in pazienti afasici con problemi di comprensione sia moderati che severi, ma non in pazienti con un danno equivalente all’emisfero destro (Swaab *et al.*, 1997).

La N<sub>400</sub> quindi è sensibile alle relazioni tra una parola ed il suo immediato contesto fraseologico, oltre che a quello tra una parola e gli altri elementi del lessico. È chiaro quindi che questa componente indicizza alcuni aspetti della ricerca nella memoria semantica. Comunque, sembra che il cervello usi tutta l’informazione disponibile, il più velocemente possibile, per vincolare la sua ricerca.

In che modo il contesto serve a guidare questa ricerca? Possiamo pensare che l’informazione sul significato della parola esista in un tipo di spazio strutturato dall’esperienza. La natura di questa struttura viene spesso inferita dal risultato delle varie categorizzazioni o dei vari compiti di verifica della frase (ad es. Kounios, 1996; Kounios, Holcomb, 1992; Kounios *et al.*, 1994). Il contesto (così come gli altri fattori noti che influenzano l’ampiezza della N<sub>400</sub>, come la frequenza e la ripetizione) può servire a dirigere l’elaborazione in diversi luoghi di questo spazio – un’operazione che, di solito, rende più facili le ricerche successive portando l’elaboratore in uno stato “più vicino” al significato delle parole in arrivo. Abbiamo esaminato questa ipotesi in uno studio in cui veniva richiesto ai partecipanti di leggere coppie di frasi del tipo:

Ann voleva offrire ai suoi ospiti stranieri un dolce tipico americano.  
Andò nel cortile interno e raccolse alcune MELE.

Queste coppie di frasi potevano terminare o con l’item contestualmente atteso (“mele”), o con un item contestualmente inatteso che derivava dalla stessa categoria semantica dell’item atteso (ad es. “arance” o altra frutta), o con un item inatteso di una diversa catego-

ria semantica (ad es. “carote”). Rispetto alle conclusioni congruenti, entrambi i tipi di conclusioni inattese elicitavano una  $N_{400}$ . Comunque, anche se entrambi i tipi di conclusioni inattese erano ugualmente inappropriati ed implausibili nel contesto, l’item inatteso derivante dalla categoria attesa elicitava una  $N_{400}$  più piccola di quanto facesse quella derivante da una diversa categoria. La misura di questa riduzione correlava con il vincolo fraseologico – cioè con quanto l’item atteso fosse atteso. Questi risultati suggeriscono che la  $N_{400}$  è sensibile all’organizzazione della conoscenza del mondo (il fatto che mele ed arance hanno più caratteristiche in comune di mele e carote), come pure alla relazione tra le parole ed il contesto delle frasi. Più in generale, i risultati sostengono l’idea che i processi di comprensione in tempo reale siano influenzati dalla struttura della conoscenza del mondo nella memoria a lungo termine (per maggiori dettagli, cfr. Federmeier, Kutas, in stampa).

Il recupero dalla memoria a lungo termine della conoscenza del mondo associata a particolari parole e gruppi di parole, quindi, è parte integrale della comprensione del linguaggio. Il contesto serve ad adattare sia la natura dell’informazione recuperata che la facilità con cui essa può essere trovata. Anche l’informazione concettuale serve ad adattare l’elaborazione del linguaggio fornendo una struttura (“cornice” o “schema”) entro la quale i dettagli oltre il livello delle singole parole possono essere adattati e messi in relazione l’uno con l’altro. Si può pensare a questi “schemi” come a delle aspettative generali del cervello sulla natura dell’informazione che verrà recuperata e sull’ordine in cui essa arriverà. Questi schemi potrebbero certamente influenzare la misura in cui si presta attenzione all’informazione, il modo in cui viene immagazzinata nella memoria di lavoro e la facilità con cui essa viene compresa. In uno studio recente, Munte, Schiltz e Kutas (1998) hanno esaminato in che modo gli schemi mentali del “tempo” e della consenzionalità degli eventi (costruiti a partire dalla esperienza quotidiana) possono influenzare l’elaborazione delle frasi da parte del cervello ed interagire con le variabili della memoria di lavoro. In questo esperimento, delle persone leggevano delle frasi descrivendo l’ordine temporale di due eventi; queste frasi differivano solamente per il fatto che la parola iniziale era “prima” o “dopo” (ad es. “Prima/dopo che gli studenti sostenessero/sostennero l’esame, l’insegnante chiamò i genitori”<sup>4</sup>). Mentre questi tipi di frase sono

4. La differenza nella coniugazione del verbo “sostenere” riguarda solo le frasi nella forma italiana. In inglese, infatti, le frasi “Before/after the students took the exam the teacher called the parents” differiscono solo nella parola iniziale [N.d.C.].

sotto tutti gli aspetti identici in contenuto lessicale e struttura sintattica, essi differiscono nella misura in cui si adattano con il nostro schema del tempo, inteso come una dimensione in movimento dal passato al futuro. Nelle frasi “dopo”, i due eventi sono menzionati in accordo con questa concezione – l’evento temporalmente più precoce viene prima e l’evento temporalmente più tardivo viene come secondo. Al contrario, le frasi “prima” invertono quest’ordine naturale. Munte, Schiltz e Kutas hanno trovato che a partire da 300 millisecondi dalla parola iniziale (il termine temporale), le frasi “dopo” mostravano una maggiore positività sostenuta di quanto facessero le frasi “prima”; questa positività era simile a quella descritta per il contrasto della proposizione relativa (oggetto contro soggetto). Ancora, questa differenza era molto pronunciata negli individui con capacità elevate dello *span* di memoria. I dati suggeriscono che la nostra conoscenza del mondo (in questo caso, del tempo) ha un effetto immediato duraturo sull’elaborazione linguistica, e che il suo impatto è modulato dalla capacità e/o dalla disponibilità della memoria di lavoro. Parole come “prima” e “dopo” segnalano la relazione temporale tra elementi a venire. Queste relazioni, a loro volta, sono più semplici da elaborare se si conformano alle configurazioni concettuali generali derivate dall’esperienza.

### 10.3

#### **Produzione del linguaggio, o il tempo che occorre per nominare una figura**

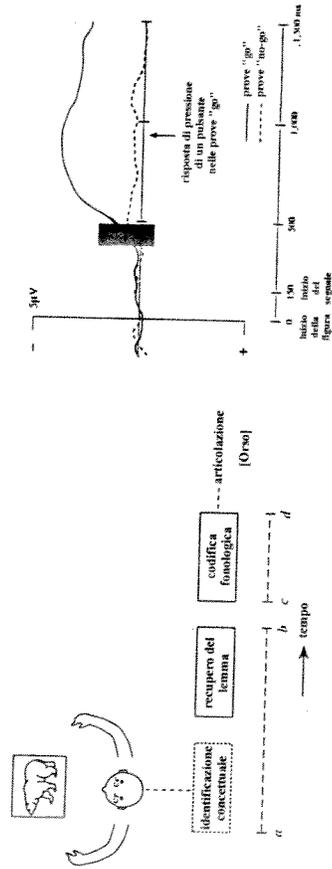
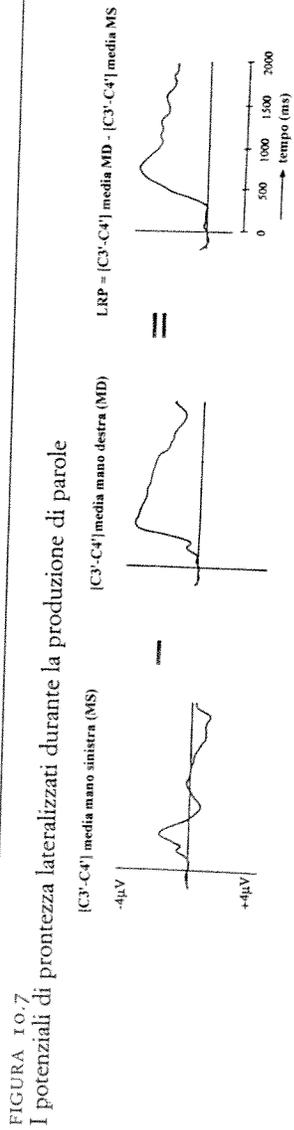
La comprensione del linguaggio riguarda solo metà degli aspetti dell’“elaborazione del linguaggio”. Non solo siamo in grado di sentire e di leggere, ma anche di parlare e di scrivere. Infatti, queste due facoltà in combinazione distinguono indiscutibilmente gli umani dai primati non umani (anche quelli che possono comunicare attraverso la lingua dei segni). Sino a poco tempo fa, comunque, la produzione del linguaggio è stata poco esplorata dal punto di vista elettrofisiologico. L’atto motorio del parlare genera molti artefatti elettrici (dovuti, ad esempio, alla lingua, alla faccia e alle otturazioni dentali), rendendo difficile estrarre solo gli eventi cerebrali di interesse. Vi sono, comunque, due metodi ERP per esaminare la preparazione motoria – anche per azioni che non vengono in realtà mai eseguite (ad es. parole che non vengono mai pronunciate). Usando tali metodi, gli investigatori hanno iniziato a chiedersi quando divengono disponibili certi tipi di informazione per influenzare la pianificazione motoria e la preparazione, che sono l’essenza della produzione del linguaggio.

Uno di tali metodi si basa sul *potenziale di prontezza lateralizzato* (LRP – *Lateralized Readiness Potential*). L'LRP deriva dal *potenziale di prontezza* (RP – *Readiness Potential*), un potenziale negativo che si sviluppa circa un secondo prima di un movimento volontario della mano (principalmente sui siti centrali). Approssimativamente mezzo secondo prima del movimento reale, il RP diviene lateralizzato, con maggiori ampiezze sull'emisfero controlaterale alla mano da muovere (ad es. Kutas, Donchin, 1974). Operando la media della lateralizzazione dei movimenti eseguiti sia con la mano sinistra che destra, si cancella l'attività lateralizzata non correlata alla preparazione motoria, ma bensì a specifiche strategie cognitive o al materiale stimolo; il rimanente LRP riflette la quantità media di lateralizzazione specificamente correlata alla preparazione motoria (cfr. Coles *et al.*, 1995 per una rassegna).

Per indagare la produzione del linguaggio usando l'LRP, Van Turenout *et al.* (1997) hanno chiesto a degli individui di nominare a voce alta immagini di oggetti ed animali. In metà delle prove, un segnale indicava ai partecipanti di posporre la loro risposta di denominazione ed eseguire un compito go/no-go<sup>5</sup>. L'istruzione era, ad esempio, di premere il pulsante destro se l'immagine era quella di un animale e quello sinistro se era quella di un vegetale; comunque, la risposta doveva essere emessa solamente se il nome dell'immagine terminava con una "r", mentre non doveva essere emessa se terminava con una "s" (tutte le immagini terminavano con "r" o con "s"). Se l'informazione semantica concettuale sull'immagine fosse disponibile prima dell'informazione fonologica, si potrebbe assumere che i partecipanti preparino la mano corretta che deve rispondere prima di essere in grado di determinare se debbano realmente dare una risposta o meno. Questa è, infatti, la configurazione che Van Turenout *et al.* hanno osservato: il cervello iniziava la preparazione motoria della mano appropriata sulla base dell'informazione semantica, che apparentemente era disponibile per prima, e, quindi, l'LRP sia per le prove "go" che "no-go" sembrava simile inizialmente (FIG. 10.7). Solo successivamente diveniva disponibile l'informazione fonologica per inibire la risposta nel caso "no-go". Un esperimento simile in seguito ha trovato che anche l'informazione sintattica diviene disponibile prima dell'informazione fonologica (Van Turenout *et al.*, 1998).

Se si chiede a degli individui di rispondere ad una classe di stimo-

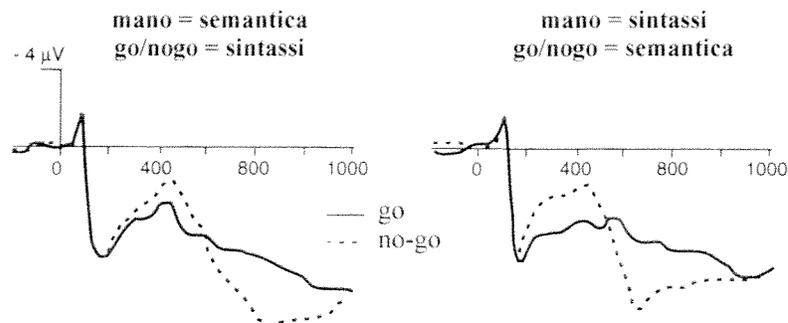
5. Il compito go/no-go è un compito in cui si deve emettere una risposta motoria ("go") ad alcuni stimoli ed inibirli ("no-go") ad altri [N.d.C.].



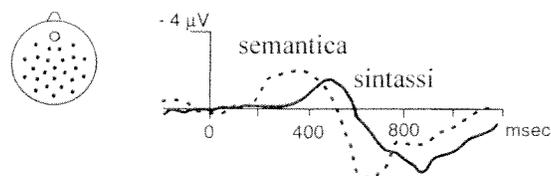
Alcuni volontari guardavano delle immagini di oggetti ed animali allo scopo di denominarli. La mano da usare per emettere una risposta veniva determinata sulla base della distinzione vivente/non vivente, mentre il fonema finale della parola determinava se questa risposta doveva essere emessa o meno ("go/no-go"). La preparazione della mano di risposta porta ad un potenziale di prontezza lateralizzato. Questo potenziale è presente anche nelle prove "no-go", indicando che l'informazione semantica (vive/non vivente) era disponibile prima dell'informazione fonologica.

Fonte: dati ripresi da Van Turenout *et al.* (1997); ristampati con il permesso della American Psychological Association.

FIGURA 10.8  
La N200 e la produzione del linguaggio



### Inibizione della risposta (differenza nogo - go)



Grandi medie ERP per "go" e "no-go" in un compito doppio (*dual task*) che implicava la presa di decisioni semantiche (vivente/non vivente) e sintattiche (genere di parole in tedesco) su nomi di immagini. Gli ERP sono sincronizzati con l'inizio delle immagini. In alto a sinistra vi sono gli ERP elicitati quando la mano della risposta è contingente con l'informazione semantica e la risposta "go/no-go" con l'informazione sintattica. In alto a destra vi sono gli ERP elicitati quando le contingenze di risposta venivano invertite. Entrambe le condizioni erano associate ad una negatività frontale (N200) che era più negativa per le prove "no-go" che per quelle "go". Sotto, vengono mostrate sovrapposte le forme d'onda delle differenze (ottenute sottraendo dagli ERP per le prove "no-go" quelli per le prove "go") per le due condizioni. La latenza di picco per l'inibizione della risposta semantica è circa 90 millisecondi più precoce di quella per l'inibizione della risposta sintattica.

Fonte: dati ripresi da Schmitt *et al.*, in stampa.

li (prove "go") ma non ad un'altra (prove "no-go"), l'ERP per le prove "no-go" è caratterizzato da una grossa negatività distribuita frontalmente (N200), che sembra essere una funzione dell'attività neurale richiesta per l'inibizione della risposta. Modificando l'informazione sulla quale viene raggiunta una decisione "go/no-go", la latenza di picco dell'effetto N200 può essere usata per esaminare quando certi tipi di informazione divengono disponibili alla parte del sistema re-

sponsabile dell'inibizione della risposta. Usando un compito linguistico nella lingua tedesca, Schmitt, Munte, e Kutas (in stampa) hanno esaminato le latenze della N200 durante decisioni "no-go" basate sull'informazione semantica (animali contro oggetti) e sintattica (genere della parola in tedesco). Essi hanno trovato che, quando l'informazione necessaria per inibire una risposta si basava sull'informazione semantica, questa era disponibile circa 90 millisecondi prima di quanto accadesse con l'informazione sintattica (FIG. 10.8). Nel loro insieme, i risultati di Van Turennout *et al.* e di Schmitt *et al.* suggeriscono che tipi diversi di informazione divengono disponibili al sistema di produzione del linguaggio (o almeno a quello motorio) in momenti diversi, progredendo dalla informazione semantica a quella sintattica. Come con altri domini cognitivi, i modelli dell'elaborazione dell'informazione per la produzione del linguaggio possono essere indagati in modo più efficace da disegni sperimentali che seguono le attività del cervello sia prima che dopo i comportamenti manifesti.

#### 10.4 Conclusioni

La comprensione e la produzione del linguaggio implicano una quantità di differenti processi elaborativi del cervello che includono l'analisi percettiva, l'allocazione dell'attenzione, il recupero dell'informazione dalla memoria a lungo termine, l'immagazzinamento dell'informazione nella memoria di lavoro e le operazioni di confronto e di trasformazione dell'informazione contenuta nella memoria di lavoro. Questi processi hanno luogo a molteplici livelli per tipi diversi di informazione (informazione sulla forma della parola ortografica/fonologica, informazione concettuale/semantica, informazione morfologica/sintattica) e si rivelano con diversi decorsi temporali sequenzialmente riflessi nelle diverse componenti elettrofisiologiche; essi, quindi, si riflettono nei diversi processi elettrofisiologici con diversi decorsi temporali.

Comprendere l'elaborazione del linguaggio richiede, quindi, di comprendere in che modo i molteplici sotto-processi implicati interagiscono nel tempo e nello spazio. Questo, a sua volta, richiede la comprensione di come l'elaborazione del linguaggio da parte del cervello interagisca con richieste elaborative più generali. Ad esempio, le ampiezze della N400 e della P600 sono sensibili alle manipolazioni ambientali. La N400 non viene osservata quando il contesto del *priming* è mascherato (Brown, Hagoort, 1993), ed i suoi effetti in compiti di accoppiamento di parole sono maggiori quando l'intervallo tra

target e parola che funge da *prime* è breve, e la proporzione delle coppie di parole correlate è elevata (Chwilla *et al.*, 1995; Holcomb, 1988). Similmente, la P600 agli errori di inflessione del verbo è molto attenuata, se non assente, quando viene richiesto a delle persone di esaminare delle frasi semplicemente per determinare se una parola in una frase è stampata in maiuscolo (Gunter, Friederici, 1999). Il *priming* ortografico, fonologico, morfologico, sintattico e gli effetti ERP dovuti al contesto sembrano sovrapporsi temporalmente tra 200-400 msec; questo è anche l'intervallo in cui vengono osservati vari effetti ERP correlati alla memoria e all'attenzione. Inoltre, gli ERP transienti per l'analisi di uno stimolo visivo come una parola (inclusa la discriminazione, la categorizzazione e la detezione della violazione) si sovrappongono a potenziali più lenti che sembrano essere elicitati durante l'elaborazione di frasi e compiti vari che richiedono il recupero dell'informazione dalla memoria a più lungo termine. Invero, non è nota al momento la misura in cui ciascuno di questi processi o effetti ERP sia prettamente specifico per il linguaggio.

Quello che sappiamo è che l'elaborazione del linguaggio è un'abilità complessa che coinvolge l'intero cervello. Lo scopo delle indagini elettrofisiologiche del linguaggio, al pari di quello della ricerca che esplora l'elaborazione del linguaggio con altri strumenti, è di costruire una conoscenza del modo in cui i vari processi implicati nella comprensione e nella produzione del linguaggio siano coordinati per produrre la conoscenza che traiamo dalla lettura o dall'ascolto della lingua parlata, da un lato, o per permetterci di concatenare le parole in un discorso, dall'altro.

### Riferimenti bibliografici

- BARRETT S. E., RUGG M. D. (1989), *Event-related Potentials and the Semantic Matching of Faces*, in "Neuropsychologia", 27, pp. 913-22.
- IDD. (1990), *Event-Related Potentials and the Phonological Matching of Picture Names*, in "Brain & Language", 38, pp. 424-37.
- BESSON M., KUTAS M. (1993), *The Many Facets of Repetition: A Cued-Recall and Event-Related Potential Analysis of Repeating Words in Same Versus Different Sentence Contexts*, in "Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition", 19, pp. 1115-33.
- BESSON M., KUTAS M., VAN PETTEN, C. (1992), *An Event-Related Potential (ERP) Analysis of Semantic Congruity and Repetition Effects in Sentences*, in "Journal of Cognitive Neuroscience", 4, pp. 132-49.
- BOBES M. A., VALDES-SOSA M., OLIVARES E. (1994), *An ERP Study of Expectancy Violation in Face Perception*, in "Brain & Cognition", 26, pp. 1-22.
- BROWN C., HAGOORT P. (1993), *The Processing Nature of the N400: Evidence*

- from *Masked Priming*, in "Journal of Cognitive Neuroscience", 5, pp. 34-44.
- CARPENTER P. A., JUST M. A. (1989), *The Role of Working Memory in Language Comprehension*, in D. Klahr, K. Kotovsky (eds.), *Complex Information Processing: The Impact of Herbert A. Simon*, Erlbaum Associates, Hillsdale (NJ), pp. 31-68.
- CHAO L. L., NIELSEN-BOHLMAN L., KNIGHT R. T. (1995), *Auditory Event-related Potentials Dissociate Early and Late Memory Processes*, in "Electroencephalography and Clinical Neurophysiology", 96, pp. 157-68.
- CHWILLA D. J., BROWN C. M., HAGOORT P. (1995), *The N400 as a Function of the Level of Processing*, in "Psychophysiology", 32, pp. 274-85.
- COLES M. G. H., SMID H. G. O. M., SCHEFFERS M. K., OTTEN L. J. (1995), *Mental Chronometry and the Study of Human Information Processing*, in M. D. Rugg, M. G. H. Coles (eds.), *Electrophysiology of Mind: Event-related Brain Potentials and Cognition*, Oxford Psychology Series, No. 25, Oxford University Press, Oxford, pp. 86-131.
- COULSON S., KING J. W., KUTAS M. (1998a), *Expect the Unexpected: Event-related Brain Response to Morphosyntactic Violations*, in "Language and Cognitive Processes", 13, pp. 21-58.
- IDD. (1998b), *ERPs and Domain Specificity: Beating a Straw Horse*, in "Language and Cognitive Processes", 13, pp. 653-72.
- DANEMAN M., CARPENTER P. A. (1980), *Individual Differences in Working Memory and Reading*, in "Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior", 19, pp. 450-66.
- DANEMAN M., MERIKLE P. M. (1996), *Working Memory and Language Comprehension: A Meta-analysis*, in "Psychonomic Bulletin and Review", 3, pp. 422-33.
- DEACON T. W. (1997), *The Symbolic Species*, W. W. Norton and Company, New York.
- DEBRULLE J. B., PINEDA J., RENAULT, B. (1996), *N400-like Potentials Elicited by Faces and Knowledge Inhibition*, in "Cognitive Brain Research", 4, pp. 133-44.
- FARAH M. J. (1990), *Visual Agnosia: Disorders of Object Recognition and What They Tell Us About Normal Vision*, The MIT Press, Cambridge (MA).
- FEDERMEIER K. D., KUTAS M. (in stampa), *A Rose by Any Other Name: Long-term Memory Structure and Sentence Processing*, in "Journal of Memory and Language".
- FISCHLER I., CHILDERS D. G., ACHARIYAPAOPAN T., PERRY N. W. (1985), *Brain Potentials during Sentence Verification: Automatic Aspects of Comprehension*, in "Biological Psychology", 21, pp. 83-105.
- FRANCIS W. N., KUCERA H. (1982), *Frequency Analysis of English Usage*, Houghton Mifflin Company, Boston.
- FRIEDERICI A. D., STEINHAEUER K., MECKLINGER A., MEYER M. (1998), *Working Memory Constraints on Syntactic Ambiguity Resolution as Revealed by Electrical Brain Responses*, in "Biological Psychology", 47, pp. 193-221.
- GANIS G., KUTAS M., SERENO M. I. (1996), *The Search for Common Sense: An*

- Electrophysiological Study of the Comprehension of Words and Pictures in Reading*, in "Journal of Cognitive Neuroscience", 8, pp. 89-106.
- GUNTER T. C., FRIEDERICI A. D. (1999), *Concerning the Automaticity of Syntactic Processing*, in "Psychophysiology", 36, pp. 126-37.
- GUNTER T. C., JACKSON J. L., MULDER G. (1995), *Language, Memory, and Aging: A Electrophysiological Exploration of the N400 during Reading of Memory-demanding Sentences*, in "Psychophysiology", 32, pp. 215-29.
- GUNTER T. C., STOWE L. A., MULDER G. (1997), *When Syntax Meets Semantics*, in "Psychophysiology", 34, pp. 660-76.
- HAGOORT P., BROWN C., GROOTHUSEN J. (1993), *The Syntactic Positive Shift (SPS) as an ERP Measure of Syntactic Processing*. Special Issue: *Event-Related Brain Potentials in the Study of Language*, in "Language and Cognitive Processes", 8, pp. 439-83.
- HOLCOMB P. J. (1988), *Automatic and Attentional Processing: An Event-related Brain Potential Analysis of Semantic Priming*, in "Brain and Language", 35, pp. 66-85.
- HOLCOMB P. J., NEVILLE H. J. (1990), *Auditory and Visual Semantic Priming in Lexical Decision: A Comparison Using Event-related Brain Potentials*, in "Language and Cognitive Processes", 5, pp. 281-312.
- IRAGUI V. J., KUTAS M., SALMON D. P. (1996), *Event-related Potentials during Semantic Categorization in Normal Aging and Senile Dementia of the Alzheimer's Type*, in "Electroencephalography and Clinical Neurophysiology", 100, pp. 392-406.
- IRAGUI V. J., KUTAS M., MITCHNER M. R., HILLYARD S. A. (1993), *Effects of Aging on Event-related Brain Potentials and Reaction Times in an Auditory Oddball Task*, in "Psychophysiology", 30, pp. 10-22.
- JOHNSTON V. S., CHESNEY G. L. (1974), *Electrophysiological Correlates of Meaning*, in "Science", 186, pp. 944-6.
- KING J. W., KUTAS M. (1995), *Who Did What and When? Using Word-and Clause-level ERPs to Monitor Working Memory Usage in Reading*, in "Journal of Cognitive Neuroscience", 7, pp. 376-95.
- ID. (1998a), *He Really Is a Nurse: ERPs and Anaphoric Coreference*, in "Psychophysiology", 35 (Supplement 1), p. S47.
- ID. (1998b), *Neural Plasticity in the Dynamics of Human Visual Word Recognition*, in "Neuroscience Letters", 244, pp. 61-4.
- KLUENDER R., KUTAS M. (1993), *Bridging the Gap: Evidence from ERPs on the Processing of Unbounded Dependencies*, in "Journal of Cognitive Neuroscience", 5, pp. 196-214.
- KOUNIOS J. (1996), *On the Continuity of Thought and the Representation of Knowledge: Electrophysiological and Behavioral Time-course Measures Reveal Levels of Structure in Semantic Memory*, in "Psychonomic Bulletin and Review", 3, pp. 265-86.
- KOUNIOS J., HOLCOMB P. J. (1992), *Structure and Process in Semantic Memory: Evidence From Event-related Brain Potentials and Reaction Times*, in "Journal of Experimental Psychology: General", 121, pp. 459-79.
- KOUNIOS J., MONTGOMERY E. C., SMITH R. W. (1994), *Semantic Memory and*

- the Granularity of Semantic Relations: Evidence From Speed-accuracy Decomposition*, in "Memory and Cognition", 22, pp. 729-41.
- KUTAS M. (1993), *In the Company of Other Words: Electrophysiological Evidence for Single-word and Sentence Context Effects*, special issue: *Event-Related Brain Potentials in the Study of Language*, in "Language and Cognitive Processes", 8, pp. 533-72.
- KUTAS M., DALE A. (1997), *Electrical and Magnetic Readings of Mental Functions*, in M. D. Rugg (ed.), *Cognitive Neuroscience*, Psychology Press, Hove, East Sussex, pp. 197-242.
- KUTAS M., DONCHIN E. (1974), *Studies of Squeezing: Handedness, Responding Hand, Response Force, and Asymmetry of Readiness Potential*, in "Science", 186, pp. 545-8.
- IDD. (1980), *Preparation to Respond as Manifested by Movement-related Brain Potentials*, in "Brain Research", 202, pp. 95-115.
- KUTAS M., FEDERMEIER K. D., COULSON S. C., KING J. W., MUNTE T. F. (in stampa), *Language*, in J. T. Cacioppo, L. Tassinary, G. Bertson (eds.), *Handbook of Psychophysiology*, Cambridge University Press, Cambridge (MA).
- KUTAS M., FEDERMEIER K. D., SERENO M. I. (in stampa), *Current Approaches to Mapping Language through Electromagnetic Space*, in P. Hagoort, C. Brown (eds.), *Neurocognition of Language*, Oxford University Press, Oxford.
- KUTAS M., HILLYARD S. A. (1980a), *Event-related Brain Potentials to Semantically Inappropriate and Surprisingly Large Words*, in "Biological Psychology", 11, pp. 99-116.
- IDD. (1980b), *Reading Senseless Sentences: Brain Potentials Reflect Semantic Incongruity*, in "Science", 207, pp. 203-5.
- IDD. (1984), *Brain Potentials during Reading Reflect Word Expectancy and Semantic Association*, in "Nature", 307, pp. 161-3.
- KUTAS M., KING J. W. (1996), *The Potentials for Basic Sentence Processing: Differentiating Integrative Processes*, in T. Inui, J. L. McClelland (eds.), *Attention and Performance 16: Information Integration in Perception and Communication*, The MIT Press, Cambridge (MA), pp. 501-46.
- KUTAS M., LINDAMOOD T. E., HILLYARD S. A. (1984), *Word Expectancy and Event-related Brain Potentials during Sentence Processing*, in S. Kornblum, J. Requin (eds.), *Preparatory States and Processes*, Erlbaum Associates, Hillsdale (NJ), pp. 217-37.
- KUTAS M., NEVILLE H. J., HOLCOMB P. J. (1987), *A Preliminary Comparison of the N400 Response to Semantic Anomalies during Reading, Listening, and Signing*, in "Electroencephalography and Clinical Neurophysiology", Supplement 39, pp. 325-30.
- KUTAS M., VAN PETTEN C. K. (1994), *Psycholinguistics Electrified: Event-related Brain Potential Investigations*, in M. A. Gernsbacher (ed.), *Handbook of Psycholinguistics*, Academic Press, San Diego (CA), pp. 83-143.
- MACLAY H., OSGOOD C. E. (1959), *Hesitation Phenomena in Spontaneous English Speech*, in "Word", 15, pp. 19-44.
- MCCARTHY G., NOBRE A. C., BENTIN S., SPENCER D. D. (1995), *Language-related*

- Field Potentials in the Anterior-medial Temporal Lobe: I. Intracranial Distribution and Neural Generators*, in "Journal of Neuroscience", 15, pp. 1080-9.
- MCKOON G., RATCLIFF R. (1998), *Memory-based Language Processing: Psycholinguistic Research in the 1990s*, in "Annual Review of Psychology", 49, pp. 25-42.
- MECKLINGER A., SCHRIEFERS H., STEINHAEUER K., FRIEDERICI A. D. (1995), *Processing Relative Clauses Varying on Syntactic and Semantic Dimensions: An Analysis with Event-related Potentials*, in "Memory & Cognition", 23, pp. 477-94.
- MILLS D. L., COFFEY-CORINA S., NEVILLE H. J. (1997), *Language Comprehension and Cerebral Specialization from 13 to 20 Months*, in "Developmental Neuropsychology", 13, pp. 397-445.
- MULLER H. M., KING J. W., KUTAS M. (1997), *Event-related Potentials Elicited by Spoken Relative Clauses*, in "Cognitive Brain Research", 5, pp. 193-203.
- MUNTE T. F., HEINZE H. J., MATZKE M., WIERINGA B. M., JOHANNES S. (1998), *Brain Potentials and Syntactic Violations Revisited: No Evidence for Specificity of the Syntactic Positive Shift*, in "Neuropsychologia", 36, pp. 217-26.
- MUNTE T. F., SCHILTZ K., KUTAS M. (1998), *When Temporal Terms Belie Conceptual Order: An Electrophysiological Analysis*, in "Nature", 395, pp. 71-3.
- MUNTE T. F., SZENTKUTI A., WIERINGA B. M., MATZKE M., JOHANNES S. (1997), *Human Brain Potentials to Reading Syntactic Errors in Sentences of Different Complexity*, in "Neuroscience Letters", 235, pp. 105-8.
- NEVILLE H. J., COFFEY S. A., LAWSON D. S., FISCHER A., EMMOREY K., BELLUGI U. (1997), *Neural Systems Mediating American Sign Language: Effects of Sensory Experience and Age of Acquisition*, in "Brain & Language", 57, pp. 285-308.
- NEVILLE H. J., MILLS D. L., LAWSON D. S. (1992), *Fractionating Language: Different Neural Subsystems with Different Sensitive Periods*, in "Cerebral Cortex", 2, pp. 244-58.
- NEVILLE H. J., NICOL J. L., BARSS A., FORSTER K. I., GARRETT M. F. (1991), *Syntactically Based Sentence Processing Classes: Evidence from Event-related Brain Potentials*, in "Journal of Cognitive Neuroscience", 3, pp. 151-65.
- NIGAM A., HOFFMAN J. E., SIMONS R. F. (1992), *N400 to Semantically Anomalous Pictures and Words*, in "Journal of Cognitive Neuroscience", 4, pp. 15-22.
- NOBRE A. C., MCCARTHY G. (1995), *Language-related Field Potentials in the Anterior-medial Temporal Lobe: II. Effects of Word Type and Semantic Priming*, in "Journal of Neuroscience", 15, pp. 1090-8.
- NOVICK B., LOVRICH D., VAUGHAN H. G. (1985), *Event-related Potentials Associated with the Discrimination of Acoustic and Semantic Aspects of Speech*, in "Neuropsychologia", 23, pp. 87-101.
- OSTERHOUT L. (1994), *Event-related Brain Potentials as Tools for Comprehension*

- ding *Language Comprehension*, in C. Clifton jr., L. Frazier, K. Rayner (eds.), *Perspectives on Sentence Processing*, Erlbaum Associates, Hillsdale (NJ), pp. 15-44.
- OSTERHOUT L., BERSICK M., MCKINNON R. (1997), *Brain Potentials Elicited by Words: Word Length and Frequency Predict the Latency of an Early Negativity*, in "Biological Psychology", 46, pp. 143-68.
- OSTERHOUT L., BERSICK M., MCLAUGHLIN J. (1997), *Brain Potentials Reflect Violations of Gender Stereotypes*, in "Memory & Cognition", 25, pp. 273-85.
- OSTERHOUT L., HAGOORT P. (1999), *A Superficial Resemblance Doesn't Necessarily Mean You're Part of the Family: Counterarguments to Coulson, King, and Kutas (1998) in the P600/SPS-P300 Debate*, in "Language and Cognitive Processes", 14, pp. 1-14.
- OSTERHOUT L., HOLCOMB P. J. (1992), *Event-related Brain Potentials Elicited by Syntactic Anomaly*, in "Journal of Memory and Language", 31, pp. 785-806.
- IDD. (1995), *Event Related Potentials and Language Comprehension*, in M. D. Rugg, M. G. H. Coles (eds.), *Electrophysiology of Mind: Event-related Brain Potentials and Cognition*, Oxford Psychology Series, No. 25, Oxford University Press, Oxford, pp. 171-215.
- OSTERHOUT L., MCKINNON R., BERSICK M., COREY V. (1996), *On the Language Specificity of the Brain Response to Syntactic Anomalies: Is the Syntactic Positive Shift a Member of the P300 Family?*, in "Journal of Cognitive Neuroscience", 8, pp. 507-26.
- POLICH J., MCCARTHY G., WANG W. S., DONCHIN E. (1983), *When Words Collide: Orthographic and Phonological Interference during Word Processing*, in "Biological Psychology", 16, pp. 155-80.
- PRAAMSTRA P., MEYER A. S., LEVELT W. J. M. (1994), *Neurophysiological Manifestations of Phonological Processing: Latency Variations of a Negative ERP Component Timelocked to Phonological Mismatch*, in "Journal of Cognitive Neuroscience", 6, pp. 204-19.
- ROESLER F., PECHMANN T., STREB J., ROEDER B., HENNIGHAUSEN E. (1998), *Parsing of Sentences in a Language with Varying Word Order: Word-by-word Variations of Processing Demands Are Revealed by Event-related Brain Potentials*, in "Journal of Memory and Language", 38, pp. 150-76.
- RUGG M. D. (1984a), *Event-related Potentials and the Phonological Processing of Words and Non-words*, in "Neuropsychologia", 22, pp. 435-43.
- ID. (1984b), *Event-related Potentials in Phonological Matching Tasks*, in "Brain & Language", 23(2), pp. 225-40.
- ID. (1985), *The Effects of Semantic Priming and Word Repetition on Event-related Potentials*, in "Psychophysiology", 22, pp. 642-7.
- RUGG M. D., BARRETT S. E. (1987), *Event-related Potentials and the Interaction between Orthographic and Phonological Information in a Rhyme-Judgment Task*, in "Brain & Language", 32, pp. 336-61.
- SCHENDAN H. E., GANIS G., KUTAS M. (1998), *Neurophysiological Evidence for*

- Visual Perceptual Categorization of Words and Faces within 150 ms*, in "Psychophysiology", 35, pp. 240-51.
- SCHMITT B. M., MUNTE T. F., KUTAS M. (in stampa), *Brain Activity Related to Response Inhibition Shows that Semantic Outperforms Syntactic Encoding*.
- STUSS D. T., PICTON T. W., CERRI A. M. (1986), *Searching for the Names of Pictures: An Event-related Potential Study*, in "Psychophysiology", 23, pp. 215-23.
- SWAAB T., BROWN C., HAGOORT P. (1997), *Spoken Sentence Comprehension in Aphasia: Event-related Potential Evidence for a Lexical Integration Deficit*, in "Journal of Cognitive Neuroscience", 9, pp. 39-66.
- VAN BERKUM J. J. A., BROWN C. M., HAGOORT P. (in stampa), *Early Referential Context Effects in Sentence Processing: Evidence from Event Related Brain Potentials*, in "Journal of Memory and Language".
- VAN PETTEN C. (1993), *A Comparison of Lexical and Sentence-level Context Effects in Event-related Potentials*, Special Issue: *Event-related Brain Potentials in the Study of Language*, in "Language and Cognitive Processes", 8, pp. 485-531.
- ID. (1995), *Words and Sentences: Event-related Brain Potential Measures*, in "Psychophysiology", 32, pp. 511-25.
- VAN PETTEN C., KUTAS M. (1991), *Influences of Semantic and Syntactic Context in Open- and Closed-Class Words*, in "Memory & Cognition", 19, pp. 95-112.
- VAN PETTEN C., KUTAS M., KLUENDER R., MITCHNER M., MCISAAC H. (1991), *Fractionating the Word Repetition Effect with Event-related Potentials*, in "Journal of Cognitive Neuroscience", 3, pp. 131-50.
- VAN PETTEN C., RHEINFELDER H. (1995), *Conceptual Relationships Between Spoken Words and Environmental Sounds: Event-related Brain Potential Measures*, in "Neuropsychologia", 33, pp. 485-508.
- VAN TURENNOUT M., HAGOORT P., BROWN C. M. (1997), *Electrophysiological Evidence on the Time Course of Semantic and Phonological Processes in Speech Production*, in "Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition", 23, pp. 787-806.
- VAN TURENNOUT M., HAGOORT P., BROWN C. M. (1998), *Brain Activity during Speaking: From Syntax to Phonology in 40 Milliseconds*, in "Science", 280, pp. 572-74.
- WEBER-FOX C., NEVILLE H. J. (1996), *Maturational Constraints on Functional Specializations for Language Processing: ERP and Behavioral Evidence in Bilingual Speakers*, in "Journal of Cognitive Neuroscience", 8, pp. 231-56.
- YOUNG M. P., RUGG M. D. (1992), *Word Frequency and Multiple Repetition as Determinants of the Modulation of Event-related Potentials in a Semantic Classification Task*, in "Psychophysiology", 29, pp. 664-76.