

Le pagine che seguono sono tratte dal manuale “Neuroscienze Cognitive” (Gazzaniga, Ivry, Mangun 2009 – Zanichelli), pp. 343 – 391 (cap. 9).

Il capitolo è riportato per intero, ma per prepararsi alla prova finale si possono saltare i seguenti paragrafi:

- “Substrati neurali del lessico mentale e delle conoscenze concettuali” (pp. 347-350)
- “Substrati neurali dell’elaborazione del linguaggio orale” (pp. 355-356)
- “Input scritto” interamente: pp. 356 – 360
- “Sistemi cerebrali per il riconoscimento delle parole” (pp. 362-363)
- “Integrazione delle parole in frasi” (pp. 365-367)
- “Substrati neurali dell’elaborazione sintattica” (pp. 368-370)
- “Elaborazione sintattica e potenziali evento-correlati” (pp. 387-390)

Anche tutti i riquadri di approfondimento si possono trascurare.

S.A.

# Linguaggio e cervello

■ Era stato un giorno come tutti gli altri nel grande aeroporto – uno dei più importanti degli Stati Uniti – da cui si accingeva a partire il volo 301. L'equipaggio stava ultimando i preparativi per il decollo; nel frattempo le hostess e il personale in servizio al cancello d'imbarco avevano portato a termine le operazioni per ammettere a bordo i passeggeri, e questi, avendo ormai finito di stipare le loro enormi borse e bagagli d'ogni genere in ogni più piccolo spazio, avevano già preso posto. Seduti fitti nei loro sedili «di lusso», allacciate le cinture di sicurezza, i passeggeri aspettavano solo che l'aereo si alzasse in volo per riaccendere i più disparati aggeggi elettronici e far ripartire la solita, frenetica sarabanda di sibili, ciangottii e lampeggiare di led. Presto l'attesa dei passeggeri fu ricompensata dal rombo dei motori e dal lento rullare dell'aereo verso la pista. Improvvisamente l'aeroplano girò su se stesso e ricominciò a ritornare verso il punto di partenza, naturalmente accompagnato dai mugugni e sospiri dei passeggeri preoccupati e scontenti: «Un altro ritardo? Che c'è che non va, adesso? Speriamo che sia solo una spia fulminata sul quadro dei comandi nella cabina di pilotaggio». ■

Nella torre di controllo gli uomini radar, in preda a una grandissima tensione, stavano disperatamente cercando una procedura, una direttiva, che permettesse loro di fronteggiare quell'emergenza. Allertate e messe in azione, le squadre della sicurezza aeroportuale stavano convergendo a tutta velocità verso il volo 301, mentre la Federal Aviation Commission, l'FBI e la polizia locale avevano mobilitato tutte le loro forze per accorrere in aiuto dei passeggeri e dell'equipaggio. Che cosa era accaduto? Che cosa non andava sull'aeroplano? Quale imminente pericolo aveva suscitato una risposta di tale portata?

Il controllore di volo, che aveva l'incarico di guidare dalla torre il volo 301 verso un decollo sicuro, era in comunicazione via radio con i piloti, come è normale prassi nella fase di preparazione al decollo. Prima che l'aereo ricevesse l'autorizzazione a lasciare il punto d'imbarco e avviarsi alla pista, era stata espletata una lunga lista di accurati controlli. Mentre l'aereo iniziava a muoversi, il controllore aveva udito provenire dalla cabina di pilotaggio la fatale parola, tanto temuta da tutti gli addetti dell'aviazione: «Dirottamento!» [in inglese: *Hijack!*]. Questa semplice parola richiedeva un'azione immediata e il controllore aveva dato il via a una procedura d'emergen-

za, messa a punto appositamente per far fronte a situazioni di quel tipo: aveva informato le autorità e aveva dato ordine all'aereo di tornare verso il punto d'imbarco. I piloti avevano obbedito alle istruzioni, facendo dietrofront e ritornando al punto di partenza, dove furono accolti da un nugolo di agenti armati e molto nervosi.

Dopo qualche momento di tensione e dopo aver condotto un'accurata indagine, gli uomini della sicurezza avevano appurato che sul volo 301 non era in atto alcun dirottamento, quindi avevano dato l'autorizzazione alla partenza, senza far scendere dall'aereo neppure uno dei passeggeri. Che cosa era accaduto? In un ambito in cui vigono un alto livello di allerta verso situazioni di quel genere e l'esigenza di attenersi alla massima cautela, si era messo di mezzo un fatto molto semplice, legato al linguaggio umano. Uno degli ultimi passeggeri saliti a bordo aveva riconosciuto nel pilota il suo amico Jack, e senza pensarci lo aveva salutato con le parole «*Hi Jack!*» [Ciao, Jack!], udite per radio dal controllore di volo che stava nella torre e da lui interpretate in tutt'altro modo.

L'errata interpretazione della semplice frase «*Hi Jack!*» esemplifica uno dei tanti, complicati aspetti del linguaggio di ogni giorno. Il linguaggio è davvero una delle im-

prese più complesse tra quelle affrontate dal cervello umano. Il significato delle parole, la loro organizzazione in frasi, la loro produzione in forma orale o scritta e, forse la cosa più importante, la loro comprensione da parte di chi le ascolta o le legge, costituiscono nell'insieme uno dei più affascinanti e ancora irrisolti misteri delle neuroscienze cognitive.

Vi è un salto gigantesco nella complessità della comunicazione, e del cervello, fra il più intelligente dei primati non umani e l'uomo, nel quale il linguaggio è parte integrante della comunicazione. Il discorso e il linguaggio simbolico, due capacità unicamente umane, segnano un marcato mutamento fra il cervello delle scimmie e quello della specie umana. Tuttavia si è rivelato estremamente difficile identificare nel cervello umano i sistemi e le specializzazioni che supportano il linguaggio. È noto da tempo che alcune regioni cerebrali hanno un'importanza critica per i normali processi di produzione e comprensione del discorso, ma questi indizi derivati dalla neurologia, vecchi ormai di cent'anni, per quanto fondamentali hanno dato solo un contributo modesto alla comprensione dell'organizzazione neurale del linguaggio. Oggi un corpo crescente di ricerche sul cervello e sui processi del linguaggio – lavori che si basano su accurati modelli psicolinguistici e si avvalgono delle tecniche di indagine più moderne – sta fornendo nuovi e importanti dati alla riflessione dei neuroscienziati cognitivi. In questo capitolo introdurremo l'approccio delle neuroscienze cognitive allo studio del sistema del linguaggio umano, un sistema così complesso che il più piccolo errore di interpretazione, come quello narrato nell'episodio del volo 301, può avere conseguenze talvolta disastrose o, come minimo, non banali.

## Teorie del linguaggio

Come fa il nostro cervello a estrarre il significato dagli input linguistici orali o scritti? Per rispondere a questa domanda dobbiamo anzitutto sapere come sono rappresentate le parole nel cervello. Questo si è rivelato un quesito a cui è difficile rispondere, tuttavia le neuroscienze cognitive sono riuscite a enucleare un certo numero di principi chiave. Inizieremo col prendere in esame il problema di come il cervello riesce a immagazzinare le parole, riesaminando i dati alla luce dei modelli teorico-sperimentali e dei dati neurofisiologici.

### Immagazzinamento delle parole e dei concetti: il lessico mentale

Uno dei concetti centrali nella rappresentazione delle parole è quello di **lessico mentale**: il magazzino mentale delle informazioni riguardanti le parole, nel quale sono contenute l'informazione *semantica* (qual è il significato

di una parola?), l'informazione *sintattica* (come sono organizzate le parole in modo da formare una frase?) e quella relativa alla *forma delle parole* (qual è l'ortografia e quale il pattern dei suoni che le compongono?). La maggior parte delle teorie psicolinguistiche è concorde nel postulare l'esistenza di un lessico mentale che assolve un ruolo centrale nel linguaggio. Ma, mentre alcune teorie presuppongono un unico lessico mentale per la comprensione e la produzione del linguaggio, altri modelli distinguono fra un lessico di input e uno di output. Inoltre qualsiasi modello deve tenere in considerazione sia la rappresentazione *ortografica* (basata sulla visione) sia quella *fonologica* (basata sul suono) delle parole. Il concetto principale è che nel cervello esiste un magazzino (o più magazzini) dell'informazione relativa alle parole e che sono già disponibili delle conoscenze, seppure limitate, su quale ne debba essere l'organizzazione dal punto di vista concettuale.

Un parlante adulto normale ha una conoscenza passiva di circa 50000 parole, e può riconoscere e produrre circa tre parole al secondo senza alcuna difficoltà. Data questa velocità e la grandezza del database, l'organizzazione del lessico mentale deve essere estremamente efficiente. Per intenderci, non può essere semplicemente equivalente a un dizionario. Se, per esempio, il lessico mentale fosse organizzato in ordine alfabetico, ci vorrebbe più tempo per trovare le parole con le iniziali situate verso la metà dell'alfabeto – come quelle che iniziano per *K, L, O*, o anche per *U* – che non per trovare una parola che incomincia per *A* o per *Z*. Ma fortunatamente le cose non stanno così.

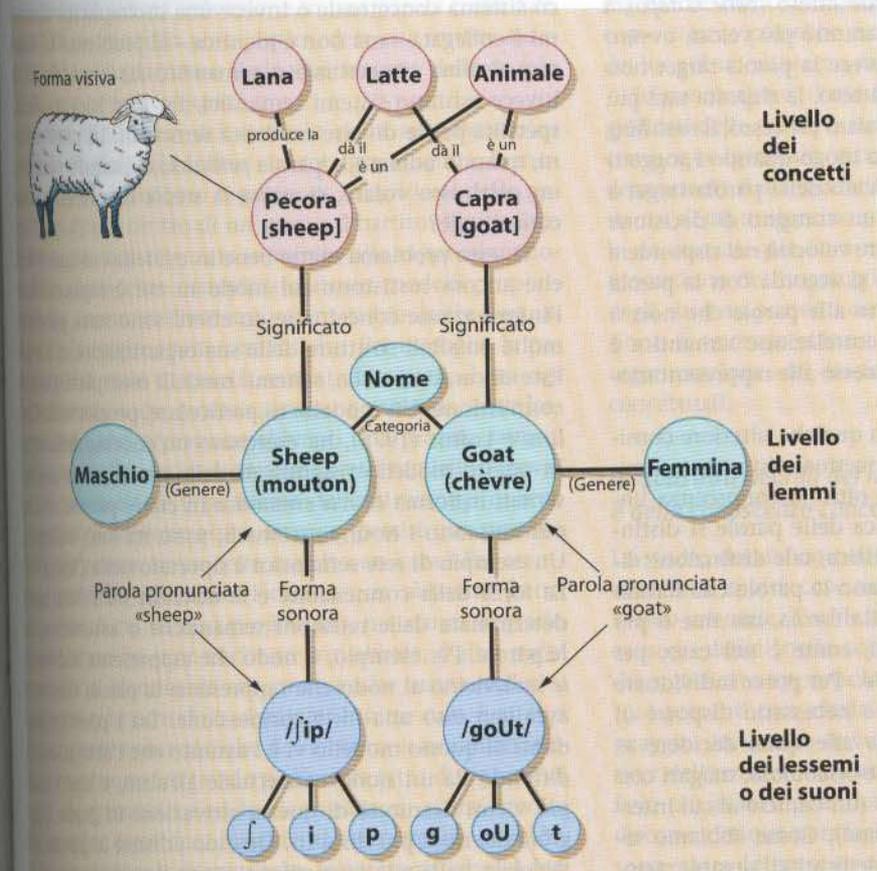
Il lessico mentale differisce da un comune dizionario anche per altri aspetti. Per prima cosa il suo contenuto non è fisso: le parole possono essere dimenticate e nuove parole possono essere apprese (quando è stata l'ultima volta che avete sfogliato un dizionario e vi siete accorti della miracolosa apparizione di nuove parole?). Un'altra importante differenza è che, nel lessico mentale, l'accesso alle parole usate con maggior frequenza è più rapido: per esempio, la parola *tavola* è più prontamente accessibile della parola *lumaca*. Inoltre il processo per accedere alle rappresentazioni lessicali (parole) nel lessico mentale è influenzato dal cosiddetto *effetto di vicinanza* (*neighborhood effect*). Consideriamo questo fenomeno in relazione alla comprensione di parole pronunciate oralmente.

La «vicinanza acustica» (*auditory neighborhood*) misura definita dal numero di parole che differiscono per un solo fonema dalla parola-target. Un *fonema* è la più piccola unità di suono che comporta una differenza di significato. In inglese [come pure in italiano] i suoni «l» e «r» sono due fonemi distinti (le parole *late*, «tardi» e *rate*, «tasso» hanno significato diverso), ma nella lingua giapponese non vi è una netta distinzione fra «l» e «r», che quindi sono rappresentate da un unico fonema. Nel caso della parola *hate*, «odio», il fenomeno della vicinanza acustica si esprime in vocaboli come *late*, *rate* ed *eight*

(otto). Le parole che hanno un numero maggiore di vicini sono identificate più lentamente. L'ipotesi è che, durante il riconoscimento del discorso, l'attivazione di più parole diverse possa dar luogo a fenomeni di competizione, che ci rivelano qualcosa sull'organizzazione del lessico mentale. Il lessico mentale, quindi, è molto diverso da un normale dizionario; come è organizzato? Si ritiene che la sua architettura consista in specifiche reti di informazioni (Figura 9.1). L'esempio in figura è tratto da un modello proposto da Willem Levelt del Max Planck Institute for Psycholinguistics, Olanda (il modello sarà discusso in maggior dettaglio più avanti, nel paragrafo dedicato alla produzione del discorso). Come si può vedere da questa piccola porzione di rete lessicale, esistono reti legate alla forma delle parole al livello detto del *lessema*, e reti legate alle proprietà grammaticali al livello del *lemma*. A questo livello (quello del lemma) sono rappresentate anche le specificazioni semantiche delle parole. L'informazione semantica definisce le circostanze concettuali in cui è appropriato usare una certa parola, per esempio a seconda che essa rappresenti un oggetto animato (vivente) oppure inanimato (non vivente). Queste specificazioni sono comunicate dal livello del lemma a quello concettuale tramite connessioni di «senso»: il livello concettuale è quello della rappresentazione del valore semantico delle parole. Come si può vedere, sempre

dalla Figura 9.1, l'organizzazione delle rappresentazioni nel lessico mentale si fonda sulle relazioni fra parole, in modo tale che parole correlate nel significato sono tra loro connesse e tendono a essere più vicine nella rete (*pecora-capra*).

Prove a favore dell'ipotesi che nel lessico mentale le rappresentazioni siano organizzate in base a relazioni semantiche fra le parole sono venute da studi sul priming semantico, in cui i soggetti dovevano eseguire un compito di decisione lessicale. In questo tipo di compito si presentano ai soggetti coppie di parole: il primo membro della coppia – l'innesco (*prime*) – è una parola, mentre il secondo membro – il target – può essere una vera parola, oppure una non parola (come *sfishi*), o una pseudoparola (come *fisch* [anziché *fish*, pesce]). Nel caso che il target sia una vera parola, esso può essere, oppure no, correlato all'innesco rispetto al significato. Nello svolgere un compito di decisione lessicale nell'ambito di un disegno sperimentale di questo tipo, i soggetti devono stabilire con la maggiore rapidità e accuratezza possibile se il bersaglio è una parola, e premere un certo pulsante per indicare la propria decisione. Si è trovato così che i soggetti sono più veloci e accurati nelle loro decisioni lessicali quando il target è preceduto da un innesco correlato (per esempio, *auto-camion*), piuttosto che scollegato (per esempio, *tulipano-camion*). Modalità di risposta simili si riscontrano



**9.1** Frammento di rete lessicale, secondo il modello di Levelt. Si legga la descrizione nel testo. Questo modello si riferisce ai processi per l'input verbale orale, ma un modello analogo si applica all'input scritto. Adattata da Levelt (1994).

anche quando si chiede al soggetto di nominare il target a voce alta (in condizioni in cui si tratta sempre di una parola, che può essere correlata con l'innesco, oppure no). In questo caso i tempi di latenza nel pronunciare la parola sono più brevi per le parole correlate con l'innesco, rispetto a quelle non correlate. Che cosa ci dice questo fenomeno di facilitazione nella velocità di risposta, in merito all'organizzazione del lessico mentale?

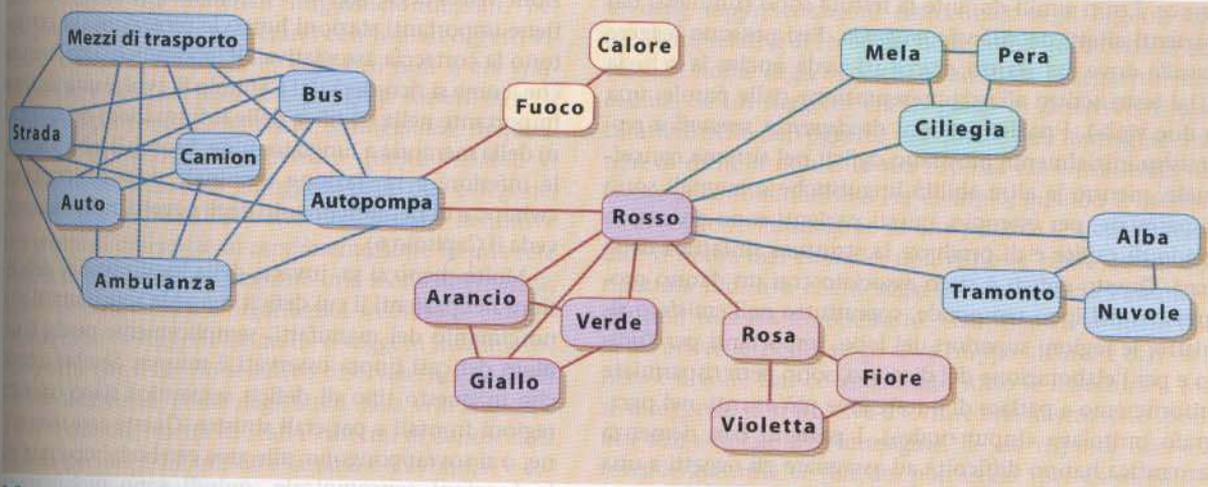
Inizialmente si riteneva, in analogia con quanto era emerso sul priming concettuale negli esperimenti sulla memoria (si veda il Capitolo 8), che il priming semantico derivasse esclusivamente da una *diffusione automatica dell'attivazione* (ASA, da *automatic spread of activation*) fra i nodi della rete. Ma in molti anni di ricerche fondate su compiti di decisione lessicale, è emerso chiaramente che questo priming può risultare anche da altri tipi di processi, oltre a quelli di natura implicita o automatica. Quando la presentazione del *prime* e quella del target sono separate da un lungo intervallo (per esempio, un ritardo > 500 ms) e nella lista la proporzione delle coppie di parole correlate è elevata (per esempio, quando il 50% o più delle coppie è del tipo *auto-camion*, *gatto-cane*, ecc.), può verificarsi il fenomeno del *priming indotto dall'aspettativa*. Dopo aver udito la parola-innesco, i soggetti possono formarsi l'aspettativa di alcuni target possibili. Così, per esempio, l'innesco *gatto* può generare nei soggetti l'aspettativa di un insieme di parole correlate, come *cane* e *topo*. Se la parola-target corrisponde a una parola dell'insieme atteso (*cane* o *topo*), i tempi di reazione a tale parola saranno più veloci, ovvero vi sarà facilitazione. Quando invece la parola-target non ha corrispondenti nell'insieme atteso, la risposta sarà più lenta, cioè vi sarà inibizione. Un altro processo, il *matching semantico* (*semantic matching*), ha luogo quando i soggetti si sforzano di abbinare il significato della parola-target a quello della parola-innesco. In un compito di decisione lessicale, ciò porta a una maggiore velocità nel rispondere «sì» alle parole il cui significato si accorda con la parola che precede nel contesto, rispetto alle parole che non si accordano. Questo processo di correlazione semantica è postlessicale: si verifica dopo l'accesso alle rappresentazioni nel lessico mentale.

Vediamo ora di addentrarci in qualche ulteriore considerazione in merito al livello concettuale (si veda la Figura 9.1). Il livello concettuale va oltre la conoscenza linguistica. La conoscenza semantica delle parole si distingue dalla pura conoscenza linguistica; tale distinzione diventa chiara quando si considerano le parole che hanno un'identica rappresentazione della forma, ma due o più significati non correlati fra loro, come è nel caso, per esempio, della parola inglese *bank*. Per poter individuare il significato della parola *bank*, è necessario disporre di informazioni contestuali in base alle quali decidere se essa vuol dire «la riva di un fiume» (sabbiosa, magari con alberi) oppure «istituto bancario» (un edificio al cui interno possono lavorare molte persone). Come abbiamo visto nei paragrafi del Capitolo 8 dedicati all'organizzazio-

ne della memoria, Endel Tulving propose all'inizio degli anni '70 che si dovesse distinguere tra memoria episodica, la memoria per gli eventi personali, e memoria semantica, la memoria per i fatti e le conoscenze generali. La memoria semantica è importante per la comprensione e la produzione del discorso, quindi è chiaramente connessa col nostro lessico mentale, come si può vedere nella Figura 9.1. Tuttavia, memoria semantica e lessico mentale non sono necessariamente la stessa cosa. In generale possiamo dire che le rappresentazioni concettuali o semantiche riflettono la nostra conoscenza del mondo. Queste rappresentazioni possono essere attivate dai nostri pensieri e intenti, o dalle nostre percezioni di parole e frasi, immagini e fotografie, o da eventi, oggetti e stadi del mondo reale. Benché le ricerche sulla natura delle rappresentazioni concettuali o semantiche siano state molto numerose, il come e il dove siano rappresentati i concetti all'interno del cervello è ancora una questione vivacemente dibattuta.

In primo luogo occorre appurare quanti sono i sistemi concettuali o semantici. Alcuni ricercatori hanno sostenuto l'ipotesi di un unico sistema semantico, che utilizzerrebbe un format verbale o basato sulle proposizioni, oppure un format unitario basato sulla percezione. Altri, invece, sono favorevoli all'idea che i diversi tipi di informazioni possano essere immagazzinati in base a codici di natura verbale e percettiva. La questione se vi sia un unico sistema concettuale o invece una molteplicità di sistemi è collegata – ma non è identica – al problema se il nostro sistema concettuale o semantico sia amodale, o se invece esistano sistemi semantici, tra loro indipendenti, specifici per le diverse modalità sensoriali. In altri termini, quando udiamo la parola *pettirosso* o quando vediamo un pettirosso volare, si attiva la stessa rappresentazione concettuale?

Questo problema mette bene in evidenza alcuni dubbi che ancora sussistono sul modo in cui è rappresentata l'informazione concettuale; in effetti sono state proposte molte possibili strutture della sua organizzazione, tra cui liste di caratteristiche, schemi, modelli esemplari e reti di connessione. Un modello in particolare, proposto da Collins e Loftus (1975), ha esercitato un'enorme influenza. In questo modello i significati delle parole sono rappresentati in forma di *rete semantica* in cui le parole, che ne costituiscono i nodi concettuali, sono fra loro collegate. Un esempio di rete semantica è riportato nella Figura 9.2. La forza della connessione e la distanza fra i nodi sono determinate dalle relazioni semantiche o associative fra le parole. Per esempio, il nodo che rappresenta *automobile* sarà vicino al nodo che rappresenta la parola *camion*, e avrà con esso una forte connessione. Tra i principi fondanti di questo modello vi è l'assunto che l'attivazione si diffonde da un nodo concettuale all'altro, e che i nodi più vicini risentono di questa attivazione in grado maggiore dei nodi più distanti. Quando udiamo la parola *automobile*, nella rete semantica si attiva il nodo che rappre-



**9.2** Un frammento di rete semantica. Si noti che le parole con più forti relazioni reciproche, di natura associativa o semantica, sono più vicine tra loro nella rete (per esempio, *Auto-Camion*) rispetto alle parole non legate da tali relazioni (per esempio, *Auto-Nuvole*). Nella figura le parole con una stretta relazione semantica compaiono entro riquadri dello stesso colore, mentre le parole con una stretta relazione associativa (per esempio, *Autopompa-Fuoco*) sono unite da linee di collegamento più brevi.

sentita *automobile*. Inoltre, parole come *camion* e *autobus*, il cui significato è strettamente collegato ad *automobile*, e quindi nella rete sono vicine e unite da forti connessioni, riceveranno una quota considerevole di attivazione. Invece è molto probabile che udire la parola *automobile* non provochi alcuna attivazione in una parola come *tulipano*. Questo modello porta a prevedere che sentire *automobile* dovrebbe facilitare il riconoscimento della parola *camion*, ma non di *tulipano*.

Benché l'influenza del modello della rete semantica proposto da Collins e Loftus sia stata grandissima, la modalità con cui sarebbero organizzati i significati delle parole è ancora al centro di un grosso dibattito. Molte altre ipotesi sono state avanzate in merito alla rappresentazione delle conoscenze concettuali; alcuni modelli propongono che i concetti siano rappresentati tramite le loro caratteristiche, o proprietà, semantiche. Per esempio, la parola *cani* ha varie proprietà semantiche, quali «è un oggetto animato», «ha quattro zampe» e «abbaia», tutte caratteristiche che si presume abbiano una propria rappresentazione nella rete concettuale. Questi modelli si trovano a dover risolvere il problema dell'attivazione: quante caratteristiche devono essere attivate, perché una persona possa riconoscere in un certo oggetto un cane? Per esempio, è possibile addestrare i cani a non abbaiare (certo non quelli di cui siamo i proprietari), ma siamo in grado di riconoscere un cane anche se non abbaia; d'altra parte riusciamo a identificare un cane anche senza vederlo, semplicemente udendolo abbaiare. Inoltre non è affatto chiaro quante caratteristiche dovrebbero essere memorizzate. Per esempio, un tavolo può essere fatto di legno o di vetro; in entrambi i casi lo riconosciamo come tavolo. Ciò significa forse che, insieme al concetto di «tavolo», dobbiamo immagazzinare anche le caratteristiche «è fat-

to di legno/vetro»? Inoltre alcune parole assumono, molto più di altre, il valore di «prototipi» di una certa categoria semantica, come rivela il nostro modo di riconoscere e produrre tali parole. Per esempio, quando ci viene chiesto di generare nomi di uccelli, *pettirosso* è una delle prime parole che ci vengono in mente, mentre una parola come *struzzo* potrebbe non sovvenirci affatto, a seconda dei luoghi in cui siamo nati o in cui abbiamo vissuto.

In conclusione, il modo in cui sono rappresentati i significati delle parole è ancora materia di discussione. Vi è comunque generale accordo nel ritenere che, indipendentemente dalla modalità di tale rappresentazione, l'esistenza di un magazzino mentale dei significati delle parole sia cruciale per i normali processi di comprensione e produzione del linguaggio. Oggi le prove che emergono dagli studi su pazienti cerebrolesi e dalla neurovisualizzazione funzionale stanno rivelando possibili modalità di organizzazione del lessico mentale e delle conoscenze concettuali.

### ■ Substrati neurali del lessico mentale e delle conoscenze concettuali

Lo studio dei deficit nelle abilità linguistiche ci permette di inferire molte cose sull'organizzazione funzionale del lessico mentale. Problemi neurologici di diversa natura causano deficit nella comprensione, o nella produzione, del significato appropriato di una parola o di un concetto. I pazienti con **afasia di Wernicke** (un deficit del linguaggio, in genere dovuto a lesioni nelle regioni posteriori dell'emisfero sinistro - tratteremo diffusamente l'afasia più avanti) commettono errori nella produzione del discorso definiti **parafasie semantiche**. Per esempio possono usare la parola  *cavallo*, quando invece intendono

*mucca*. Errori simili durante la lettura sono commessi dai pazienti affetti da *dislessia profonda*. Essi possono leggere *cavallo* dove sta scritto *mucca* (si veda anche la scheda «Dal testo scritto alla rappresentazione delle parole: una o due vie?»). I pazienti affetti da *demenza semantica progressiva* inizialmente mostrano deficit nel sistema concettuale, mentre le altre abilità linguistiche e mentali sono risparmiate; per esempio, questi pazienti sono ancora in grado di capire e di produrre la struttura sintattica delle frasi. Questo deficit è stato associato con un danno progressivo del lobo temporale, soprattutto nell'emisfero sinistro; le regioni superiori del lobo, importanti per l'udito e per l'elaborazione del discorso, sono però risparmiate (ritorneremo a parlare di queste aree più avanti, nel paragrafo intitolato «Input orale»). I pazienti con demenza semantica hanno difficoltà ad assegnare gli oggetti a una particolare categoria semantica. Inoltre, spesso ricorrono a una categoria generale quando devono denominare l'oggetto visibile in un'immagine; per esempio, se si mostra loro l'immagine di un cavallo, possono dire «animale» e davanti all'immagine di un pettirosso possono dire «uccello». Queste prove neurologiche vanno a sostegno dell'ipotesi della rete semantica, dal momento che significati correlati si sostituiscono a vicenda, si confondono o si conglomerano, tutti effetti prevedibili e coerenti con la degradazione di un sistema interconnesso tramite nodi che specificano informazioni.

Nel corso degli anni '70 e dei primi anni '80, il gruppo di Elizabeth Warrington condusse ricerche pionieristiche sull'organizzazione delle conoscenze concettuali. Alcuni di questi studi riguardarono pazienti che oggi sarebbero diagnosticati affetti da demenza semantica, il disturbo di cui abbiamo appena parlato. Questi ricercatori trovarono che il deficit può essere specificamente limitato a una particolare categoria semantica, per esempio agli animali in contrapposizione agli oggetti inanimati. Questi studi hanno esaminato pazienti che avevano grandi difficoltà a *indicare col dito (pointing)* immagini di cibi o di esseri viventi presentate insieme a parole espresse oralmente, mentre le loro prestazioni con manufatti umani, per esempio utensili e attrezzi, erano molto migliori. La stessa difficoltà fu riscontrata quando si chiese ai pazienti di *denominare* i cibi o gli esseri viventi di cui si presentavano loro le immagini, mentre la capacità di dire il nome di oggetti artificiali era intatta. In un altro gruppo di pazienti si rilevò il quadro opposto: un'intatta capacità di riconoscere i cibi e gli oggetti viventi, a fronte dell'incapacità di identificare i manufatti artificiali. Dopo questi primi, originali studi compiuti da Warrington, molti casi di pazienti con deficit semantici categoria-specifici sono stati osservati; sembra esistere una straordinaria corrispondenza fra i siti delle lesioni e il tipo di deficit semantico. I pazienti in cui era danneggiato il riconoscimento degli oggetti animati avevano lesioni alla corteccia temporale inferiore e mediale, spesso nelle regioni anteriori. La corteccia temporale antero-inferiore è vicina alle aree del cervello essenziali per la perce-

zione visiva degli oggetti, e il lobo temporale mediale contiene importanti stazioni lungo le proiezioni che connettono la corteccia associativa all'ippocampo, una struttura che, come si ricorderà dal Capitolo 8, svolge una funzione importante nella codifica delle informazioni nei magazzini della memoria a lungo termine. Inoltre il lobo temporale inferiore è la stazione terminale della cosiddetta via «what», o di riconoscimento degli oggetti, nella visione (si veda il Capitolo 6).

Molto meno si sa, invece, della localizzazione delle lesioni nei pazienti il cui deficit riguarda soprattutto il riconoscimento dei manufatti, semplicemente perché il numero dei casi finora osservati è minore. Sembra tuttavia che in questo tipo di deficit semantico siano coinvolte regioni frontali e parietali sinistre. Queste aree sono vicine, o si sovrappongono, alle aree cerebrali importanti per le funzioni sensomotorie, quindi sono probabilmente coinvolte nella rappresentazione delle azioni che si possono compiere quando si usano oggetti creati dall'uomo come gli utensili.

Le correlazioni osservate fra il tipo di deficit semantico e l'area della lesione si accordano con l'ipotesi che Warrington e collaboratori hanno avanzato in merito all'organizzazione delle informazioni semantiche. Secondo la teoria proposta da questi ricercatori, i problemi di questi pazienti riflettono i tipi di informazione memorizzati nella rete semantica da parole differenti. Mentre la rappresentazione delle categorie biologiche (frutti, cibi, animali) sarebbe fondata maggiormente sulle proprietà fisiche o sulle caratteristiche visive degli oggetti (per esempio, qual è il colore di una mela?), i manufatti risulterebbero identificati dalle loro proprietà funzionali (per esempio, come si usa un martello?). Questa ipotesi è stata messa in discussione e sottoposta a verifica. Una delle prove a favore dell'ipotesi che la rete semantica abbia un'organizzazione modalità-specifica è venuta da un modello computazionale proposto da Martha Farah e James McClelland (1991). I modelli computazionali sono strumenti importanti per verificare la plausibilità di un'ipotesi. In questo caso specifico, Farah e McClelland hanno costruito un modello della memoria semantica formato da due sottosistemi distinti, l'uno visivo l'altro funzionale, e fondato sul principio che gli oggetti viventi dovrebbero avere rappresentazioni basate sui loro attributi visivi e gli oggetti inanimati, invece, sui loro attributi funzionali. Questi ricercatori hanno trovato, come previsto dalla teoria di Warrington, che «lesionando» le proprietà visive (rimovendo certi nodi della rete nella simulazione al computer), il modello risultava «danneggiato» soprattutto nell'elaborare gli oggetti viventi, mentre «lesionando» le proprietà funzionali il «danno» coinvolgeva gli oggetti non viventi.

Critiche alla teoria della Warrington sono state mosse da Alfonso Caramazza e altri ricercatori (per esempio, Caramazza e Shelton, 1998), sulla base dell'osservazione che non sempre negli studi sui pazienti vi era stato un ca-

trolo accurato dei materiali linguistici utilizzati. Per esempio, negli studi in cui si erano confrontati oggetti viventi e manufatti artificiali, in certi casi non si era controllato che gli stimoli delle due categorie fossero oggetti equiparabili per complessità visiva, somiglianza, frequenza d'uso e familiarità. Se rispetto a queste variabili vi sono grandi differenze tra gli oggetti delle due categorie, allora diventa impossibile trarre conclusioni definitive circa eventuali differenze di rappresentazione in una rete semantica. Caramazza ha proposto una teoria alternativa, in cui la rete semantica è organizzata secondo le categorie concettuali di «oggetti animati» e «oggetti inanimati». Egli sostiene che il danno selettivo osservato nei pazienti con lesioni cerebrali, come negli studi della Warrington e di altri ricercatori, rifletta in realtà «sistemi di conoscenza dominio-specifici risultanti da adattamenti evolutivi e sostenuti da meccanismi neurali distinti».

Studi recenti, in cui mediante le tecniche di neuroimmagine sono state esaminate persone non affette da problemi neurologici, hanno permesso di spingere più a fondo l'indagine sull'organizzazione delle rappresentazioni semantiche. Alex Martin e i suoi collaboratori (1996) presso il National Institute of Mental Health (NIMH) hanno condotto una serie di studi, usando la tomografia a emissione di positroni (PET) e la neurovisualizzazione con risonanza magnetica funzionale (fMRI). I loro risultati rivelano che le interessanti dissociazioni sopra descritte per i pazienti neurologici sono rilevabili anche nel caso di soggetti neurologicamente normali. Quando i soggetti rispondevano a domande su animali, o ne leggevano i nomi, oppure quando ne dicevano il nome dopo averne visto l'immagine, si evidenziavano foci di attivazione nella porzione più laterale del giro fusiforme (sulla superficie ventrale del cervello) e nel solco temporale superiore. Ma il denominare un animale attivava anche un'area del cervello associata con le prime fasi dell'elaborazione visiva, vale a dire il lobo occipitale mediale sinistro. Invece l'identificazione e la denominazione di utensili erano associate all'attivazione in una regione più mediale del giro fusiforme, nel giro temporale medio sinistro e nell'area premotoria sinistra, un'area che diviene attiva anche quando il soggetto immagina movimenti delle mani. Questi risultati sono in accordo con l'ipotesi che la rappresentazione concettuale degli oggetti animati e quella degli utensili siano sostenute da circuiti neuronali distinti, i quali elaborano gli attributi percettivi o, invece, quelli funzionali.

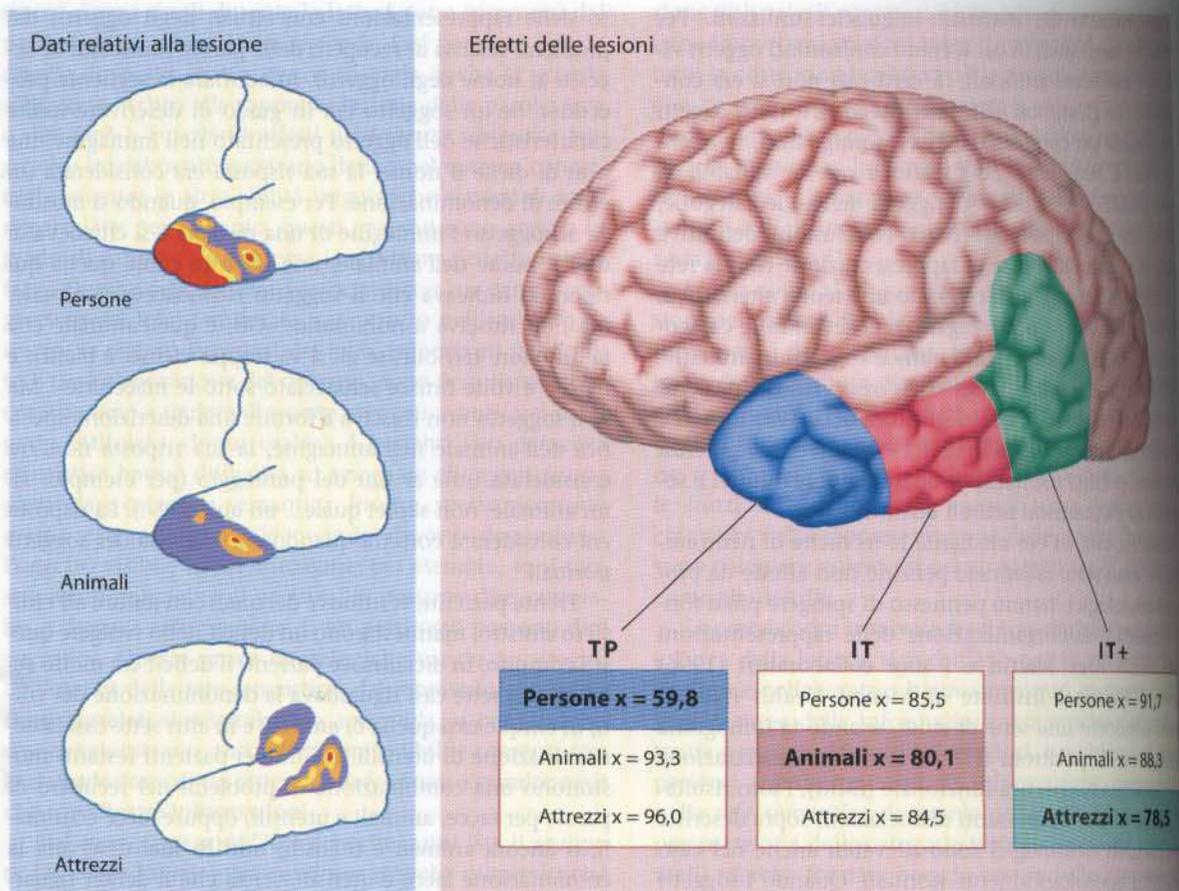
Una delle prove più forti a favore dell'esistenza di deficit categoria-specifici è venuta dagli studi che Hannah Damasio e collaboratori (1996) hanno condotto alla University of Iowa su un vasto campione di soggetti cerebrolesi. A questi pazienti è stato somministrato un compito di denominazione, in tre condizioni diverse: (1) dire il nome di personaggi famosi di cui si mostrava loro il volto; (2) dire il nome di animali e (3) dire il nome di utensili. Per dissociare i problemi concettuali (danneggiamen-

to delle rappresentazioni concettuali degli oggetti) dai problemi relativi al recupero delle parole (difficoltà di accesso al nome degli oggetti), fu adottata la seguente procedura. Se un soggetto era in grado di descrivere molte caratteristiche dell'oggetto presentato nell'immagine, ma non di dirne il nome, la sua risposta era considerata un errore di denominazione. Per esempio, quando si mostrava al soggetto l'immagine di una puzza e si chiedeva di dire il nome dell'animale, una risposta come quella qui riportata indicava che il soggetto riconosceva l'animale, ma non riusciva a nominarlo: «Oh, è quell'animale che fa un odore terribile, se gli si va troppo vicino; è bianco e nero e a volte finisce schiacciato sotto le macchine». Ma se il soggetto non riusciva a fornire una descrizione specifica dell'animale nell'immagine, la sua risposta non era considerata utile ai fini del punteggio (per esempio: «È un animale; non saprei quale... un animale...»). La risposta era considerata corretta quando era la stessa dei soggetti normali.

Trenta pazienti, ventinove dei quali con lesioni all'emisfero sinistro, manifestarono un deficit nello svolgere questo compito. In diciannove pazienti il deficit era molto selettivo: in sette casi riguardava la denominazione dei volti; in cinque casi quella di animali e in altri sette casi la denominazione di utensili. Gli undici pazienti restanti mostrarono una combinazione di problemi nel recupero di parole per facce, animali e utensili, oppure facce e animali, o ancora animali e utensili; non fu mai osservata la combinazione facce e utensili, senza che il deficit riguardasse anche gli animali. Quando esaminarono la localizzazione delle lesioni cerebrali in questi pazienti, i ricercatori trovarono che era possibile correlare i deficit di denominazione con specifiche regioni cerebrali (Figura 9.3).

Hannah Damasio ha scoperto che le lesioni al polo temporale sinistro (TP, da *temporal pole*) erano correlate a problemi nel recuperare i nomi propri di persona, mentre le lesioni nella porzione anteriore del lobo temporale inferiore sinistro (IT, da *inferior temporal lobe*) erano correlate ai deficit nella denominazione di animali; infine, le lesioni nella regione postero-laterale del lobo temporale inferiore sinistro, insieme alla giunzione laterale temporo-occipito-parietale (IT+), erano correlate a problemi nel recuperare i nomi di utensili. In uno studio coordinato, in cui soggetti normali sotto il profilo neurologico sono stati sottoposti alla PET, queste stesse aree cerebrali sono risultate attive quando i soggetti erano impegnati nel denominare persone (TP), animali (IT) e utensili (IT+), come si può vedere nella Figura 9.4.

Damasio e collaboratori hanno concluso che – avendo accertato che i pazienti con problemi nel recuperare il nome di un certo oggetto erano ancora in grado di attivare molte delle proprietà concettuali relative a quello stesso oggetto (per esempio, riuscire a dire, in risposta all'immagine di una puzza, «Oh, è quell'animale che fa un odore terribile, se gli si va troppo vicino; è bianco e nero e a volte finisce schiacciato sotto le macchine») – le



**9.3** Localizzazione delle lesioni cerebrali correlate con deficit selettivi nel denominare persone, animali o attrezzi. Nella parte sinistra della figura sono rappresentati i dati mediati relativi alla lesione di pazienti con anomia specifica per le persone (in alto), per gli animali (al centro), o per gli attrezzi (in basso). I colori rappresentano la percentuale di pazienti la cui lesione era localizzata in quell'area. Il rosso, per esempio, sta a significare che la lesione era situata in quell'area nella maggior parte dei pazienti; il viola, che lo era solo in pochi pazienti. Nella parte destra della figura sono riportati gli effetti della lesione. L'area blu corrisponde al polo temporale (TP); l'area rossa alla regione inferotemporale (IT) e l'area verde alla parte posteriore del lobo inferotemporale, che si estende sino al limite anteriore della regione occipitale laterale (IT+). I valori nei riquadri indicano la percentuale di item riconosciuti e denominati correttamente. Nel caso delle lesioni TP, la più bassa percentuale di risposte corrette si ebbe con i nomi di persone (59,8%) nelle lesioni IT con i nomi di animali (80,1%) e nelle lesioni IT+ con i nomi di attrezzi (78,5%). Adattata da Damasio et al. (1996).

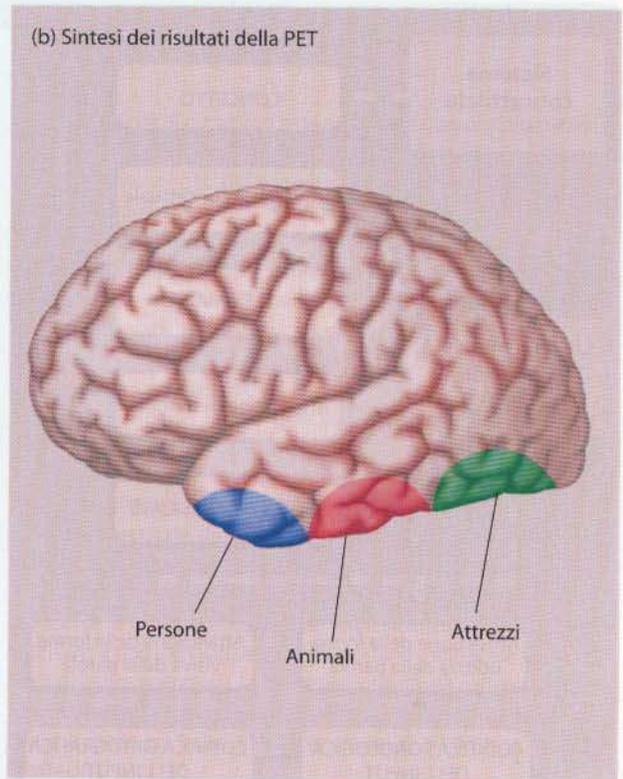
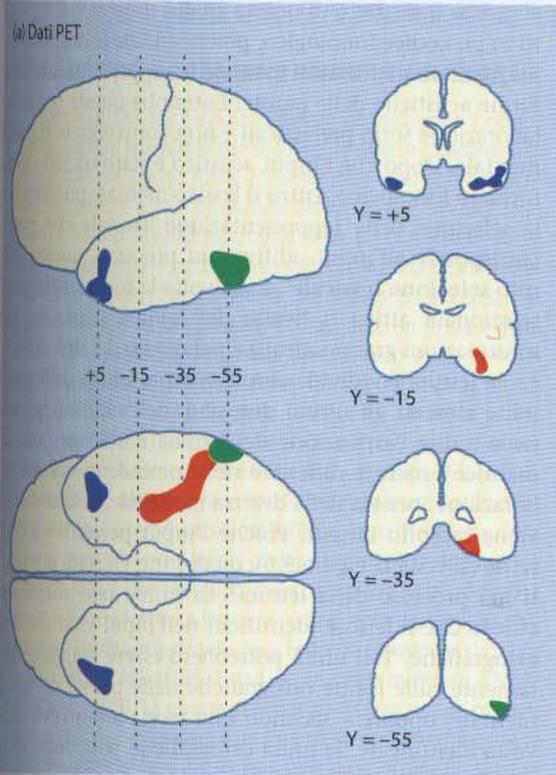
aree cerebrali che in questi pazienti sono lesionate devono giocare un ruolo nel recupero delle parole. Perciò questi ricercatori hanno proposto che i loro risultati riflettano non tanto l'organizzazione a rete del livello concettuale, quanto piuttosto l'organizzazione del livello delle parole (lessicale). I loro risultati starebbero quindi a indicare che il cervello ha tre livelli per rappresentare la conoscenza delle parole, come si vede nella Figura 9.5. Questi livelli rappresentazionali erano stati previsti dai modelli cognitivi della produzione delle parole.

Nella Figura 9.5 il livello superiore è quello concettuale, un livello preverbale che contiene le caratteristiche semantiche correlate alla parola in questione (per esempio, quattro zampe, pelliccia, coda). Al livello lessicale è rappresentata la forma della parola che corrisponde a quel concetto (*gatto*). Infine, al livello fonologico sono rappresentati i bit dell'informazione acustica corrispondente alla parola. (Si noti che questo modello della rappresenta-

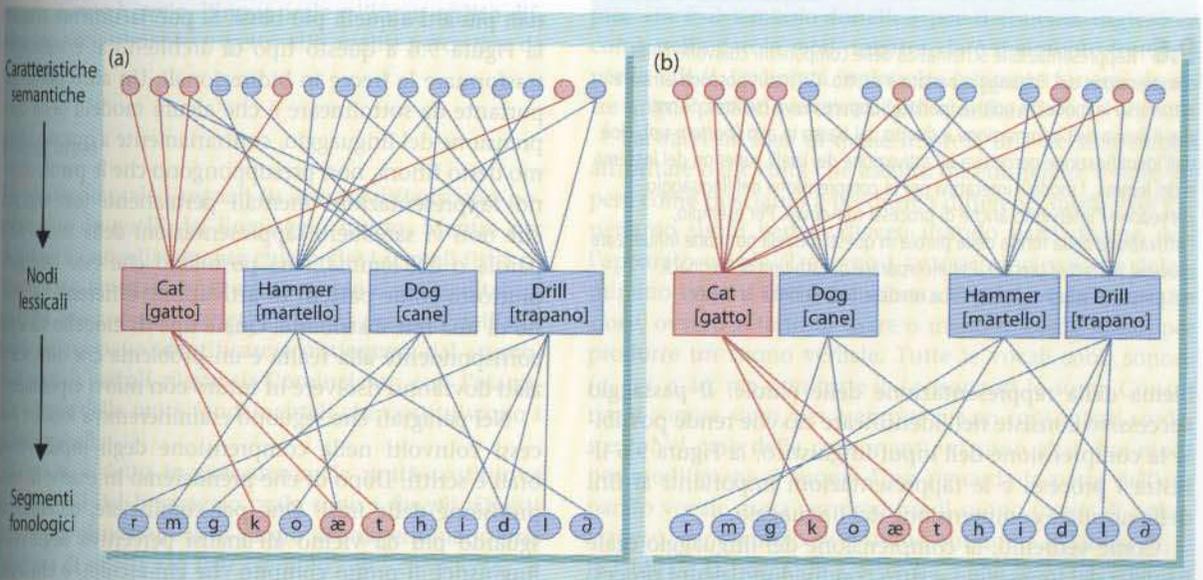
zione delle parole è diverso da quello che abbiamo considerato finora, in quanto manca la rappresentazione a livello del «lemma» – si vedano i paragrafi precedenti nel testo). La Damasio e i suoi collaboratori hanno proposto che le reti concettuali coinvolgano più strutture neurali, nell'emisfero sinistro e nel destro. Queste reti concettuali sarebbero collegate alle reti lessicali nel lobo temporale sinistro e potrebbero contenere informazioni specializzate per le persone, gli animali e le cose. Queste aree, a loro volta, attiverrebbero la rete fonologica, la quale innescava i pattern necessari per pronunciare i suoni che compongono le parole.

### Analisi percettive dell'input linguistico

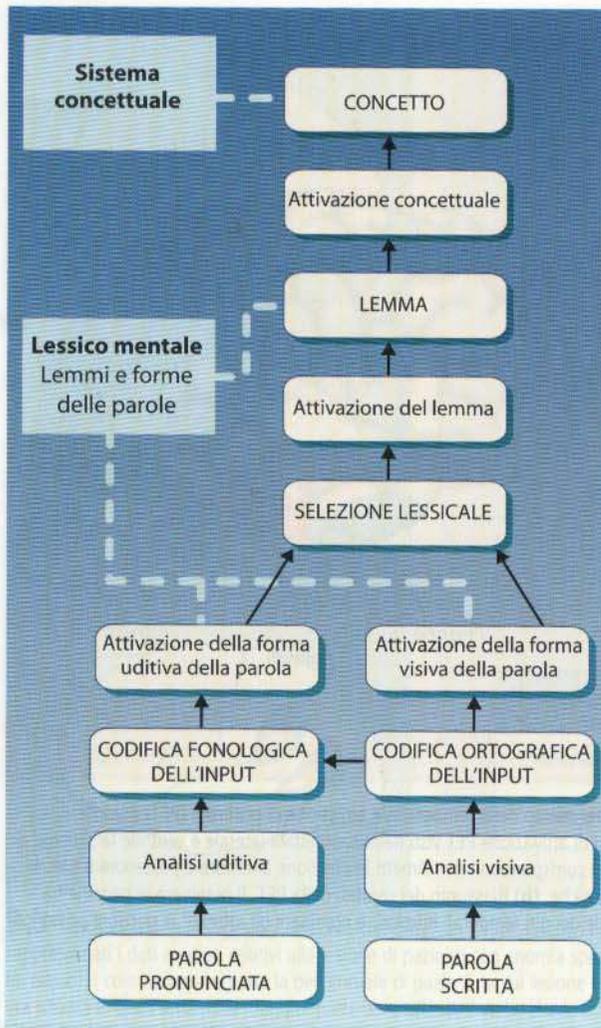
Qualsiasi modello che voglia spiegare la normale comprensione del linguaggio deve prendere le mosse dal po-



**9.4** Quadri di attivazione in soggetti privi di lesioni neurologiche, determinati per mezzo della tomografia a emissione di positroni (PET) durante l'esecuzione di compiti di denominazione di persone, animali o attrezzi. **(a)** Quadri di attivazione PET visti dalla prospettiva laterale e ventrale (a sinistra) e in quattro sezioni coronali condotte ai livelli indicati dalle linee tratteggiate. I valori corrispondono a millimetri in direzione anteriore e posteriore a partire da un punto zero nel cervello, definito mediante un sistema di coordinate stereotassiche. **(b)** Riassunto dei risultati della PET. Il nominare le persone ha attivato principalmente il polo temporale; nominare gli animali, la porzione centrale dei giri temporali inferiori; e nominare gli attrezzi, le porzioni posteriori del giro temporale inferiore. Adattata da Damasio et al. (1996).



**9.5** I tre livelli rappresentazionali che devono intervenire nella produzione del discorso: caratteristiche semantiche, nodi lessicali e segmenti fonologici. **(a)** Le caratteristiche semantiche della parola *gatto* (quattro zampe, peloso) attivano il nodo lessicale *gatto*, che a sua volta attiva i segmenti fonologici di questa parola. **(b)** Modello che rispecchia i dati di Damasio e collaboratori, riportati nelle Figure 9.3 e 9.4. Al livello lessicale le informazioni sono organizzate in specifiche categorie semantiche (per esempio, animali oppure attrezzi). Adattata da Caramazza (1996).



**9.6** Rappresentazione schematica delle componenti coinvolte nella comprensione del linguaggio parlato e scritto. Gli input possono arrivare attraverso la modalità uditiva (parlato) oppure visiva (scritto). Si noti che il flusso dell'informazione è diretto dal basso in alto (*bottom-up*), cioè dall'identificazione percettiva all'attivazione dei livelli superiori del lessema e del lemma. I modelli interattivi per la comprensione del linguaggio prevedono l'intervento anche di processi *top-down*. Per esempio, l'attivazione della forma della parola in questi modelli potrebbe influenzare processi percettivi precoci. Per incorporare questo tipo di feedback nel presente schema, basterebbe rendere bidirezionali le frecce.

blema della rappresentazione delle parole. Il passaggio successivo consiste nell'identificare ciò che rende possibile la comprensione dell'input linguistico; la Figura 9.6 illustra i processi e le rappresentazioni importanti ai fini della normale comprensione del linguaggio.

Come vedremo, la comprensione del linguaggio orale e quella del linguaggio scritto condividono alcuni processi, ma oltre alle somiglianze vi sono anche marcate differenze nel modo in cui vengono analizzati i due tipi di input. Quando è impegnato a capire un discorso orale (si veda la Figura 9.6), l'ascoltatore deve decodificare l'input

acustico. Il risultato di questa analisi uditiva viene tradotto in un codice fonologico, poiché in tale forma sono immagazzinate nel lessico mentale le rappresentazioni delle forme acustiche delle parole. Entrambe queste fasi dell'elaborazione sono prelessicali e non coinvolgono il lessico mentale. Dopo che l'input acustico è stato tradotto in un formato fonologico, entro il lessico mentale può avvenire la selezione della rappresentazione lessicale che meglio corrisponde all'input uditivo: un processo, questo, definito **selezione lessicale**. A sua volta la forma della parola selezionata attiva il livello del lemma (deposito delle informazioni grammaticali) e poi quello del significato.

La lettura condivide con la comprensione delle parole udite almeno gli ultimi due stadi dell'analisi linguistica (vale a dire l'attivazione del lemma e del significato semantico), mentre differisce nelle precedenti fasi dell'elaborazione, per via della diversa modalità sensoriale in cui viene recepito l'input. Poiché l'input percettivo è differente (si veda la Figura 9.6), quali sono gli stadi precedenti nel processo della lettura? La prima fase analitica richiede che il lettore identifichi nell'input visivo le unità ortografiche. Tali unità potrebbero essere mappate direttamente sulle forme ortografiche delle parole nel lessico mentale; oppure – secondo una teoria alternativa – una volta identificate, le unità ortografiche potrebbero essere tradotte in unità fonologiche, che a loro volta potrebbero attivare la forma fonologica delle parole nel lessico mentale, come avviene nella comprensione uditiva.

Si noti che nella Figura 9.6 il flusso delle informazioni scorre rigorosamente dal basso verso l'alto. Ma, secondo alcuni modelli interattivi (si veda la scheda «Modularismo e interazionismo a confronto»), è possibile anche un flusso retroattivo, a feedback, dai livelli rappresentazionali più alti a quelli più bassi. Si può facilmente adattare la Figura 9.6 a questo tipo di architettura: è sufficiente trasformare le frecce in bidirezionali. Un altro punto importante da sottolineare è che alcuni modelli della comprensione del linguaggio, contrariamente a quanto abbiamo detto finora, non presuppongono che le parole abbiano rappresentazioni mentali permanenti (cioè significa che non vi sarebbero rappresentazioni della forma della parola o del lemma), ma postulano che esse emergano piuttosto come pattern di attivazione differenti all'interno di una rete distribuita. Quale tipo di modello sia il più corrispondente alla realtà è un problema che altri scienziati dovranno risolvere in futuro con nuovi esperimenti.

Nei paragrafi che seguono esamineremo a fondo i processi coinvolti nella comprensione degli input verbali orali e scritti. Dopo di che prenderemo in esame la comprensione delle frasi. Ora, per cominciare, daremo uno sguardo più da vicino all'analisi percettiva degli input linguistici. Il primo compito che chi ascolta, o chi legge, si trova ad affrontare è identificare le singole parole contenute in un enunciato o in un testo scritto. La persona deve perciò analizzare l'input dal punto di vista percettivo, un processo prelessicale che non coinvolge il lessico

## COME FUNZIONA IL CERVELLO

### Modularismo e interazionismo a confronto

Tra le domande che più hanno tormentato gli psicologi e i neuroscienziati cognitivi figurano le due seguenti: le diverse componenti di processo coinvolte nel ricordare, o nel prestare attenzione, oppure nella comprensione o nella produzione del linguaggio, interagiscono tra loro? E, in caso affermativo, a quale livello del processo di elaborazione? Nel leggere un testo, per esempio, occorre analizzare gli elementi fisici che costituiscono le lettere, poi si devono raggruppare le lettere in modo tale da formare parole dotate di senso. Come è detto nel testo, gli scienziati hanno visioni discordi sullo svolgimento di questi processi. Secondo alcuni (come Selfridge, si veda la Figura 9.11), il processo di analisi funziona unicamente dal basso in alto (*bottom-up*), dall'input sensoriale alle rappresentazioni d'ordine superiore delle parole. Altri (come McClelland e Rumelhart, si veda la Figura 9.12) pensano che i processi d'ordine superiore possano influenzare le analisi percettive sin dai livelli più bassi. Nella letteratura scientifica queste differenti visioni configurano una contrapposizione tra modularismo e interazionismo, ovvero tra teorie della modularità e teorie dell'interattività. La formulazione più nota del modularismo dei processi cognitivi è quella che Jerry Fodor ha esposto nel suo libro *The Modularity of Mind* (1983) [trad. it.: *La mente modulare*, Il Mulino, Bologna, 1988]. La visione di Fodor si incentra su due concetti fondamentali: (1) il linguaggio è un sistema di input anziché parte di un sistema centrale, dove per sistema centrale si intende un sistema che influenza domini di conoscenza differenti; e (2) i sistemi di input hanno un'architettura modulare.

Fodor ha sostenuto che qualsiasi sistema di input con architettura modulare dovrebbe avere le seguenti caratteristiche.

a. *Specificità di dominio.* Il sistema di input riceve le informazioni da vari sistemi sensoriali, ma elabora le informazioni mediante codici che sono specifici per il sistema. Per esempio, il sistema di input del linguaggio può tradurre un input visivo in una rappresentazione fonologica ovvero di suoni verbali.

b. *Incapsulamento delle informazioni.* L'elaborazione procede rigorosamente in una sola direzione. Il modulo più basso deve completare l'elaborazione dell'informazione prima di trasmetterla al modulo successivo, e così via. Non ci può essere trasmissione parziale di informazioni. La direzione del flusso informativo procede rigorosamente dal basso in alto (*bottom-up*). Nel modello di Fodor i moduli cognitivi superiori non esercitano alcuna influenza sui moduli cognitivi più bassi. Ovvero, nell'elaborazione del linguaggio non v'è alcuna influenza *top-down*.

c. *Localizzazione della funzione.* Ogni modulo trova attuazione in una particolare regione del cervello.

L'interazionismo respinge tutte queste premesse. Ma la critica più sostanziale è rivolta alla concezione fondamentale dell'architettura modulare, e cioè che i vari sottosistemi possano comunicare solo lungo la direttrice *bottom-up*. Le teorie dell'interattività sostengono che i processi cognitivi superiori sono in grado di influenzare i processi cognitivi a livello più basso attraverso sistemi di retroazione, cioè di feedback.

La questione della modularità o dell'interattività è rilevante per molti aspetti della comprensione e della produzione del linguaggio, e la discussione su questo argomento riguarda tutte le componenti di processo trattate in questo capitolo.

mentale. Come è ovvio, l'input orale e l'input scritto differiscono notevolmente rispetto alle analisi percettive da essi richieste.

#### Input orale

Nel linguaggio orale i segnali in entrata differiscono notevolmente da quelli del linguaggio scritto. Mentre per un lettore è immediatamente chiaro che i segnali fisici rilevanti sono le lettere scritte sulla pagina, un ascoltatore ha a che fare con una varietà di suoni presenti nell'ambiente e deve poter identificare e distinguere dai «rumori» i segnali verbali rilevanti. Cominciamo con l'esaminare alcune delle unità fondamentali che costituiscono i segnali verbali.

Come si è detto in precedenza, le unità costitutive fondamentali del linguaggio orale sono i *fonemi*. Questi sono le più piccole unità di suono che determinano una differenza di significato (per esempio *cap*, «cappuccio», e *rap*, «rubinetto», sono due vocaboli inglesi che differiscono a livello solo del primo fonema). Per descrivere i fonemi di una lingua si usa l'alfabeto fonetico, che non è identico all'alfabeto delle lettere o ortografico. Per esem-

pio, «i» è il simbolo fonetico per il fonema inglese *ee* come nella parola *meet*, mentre «I» è il simbolo fonetico per la *i* di *it*. La lingua inglese ha quaranta fonemi, le altre lingue possono averne di più o di meno <sup>(1)</sup>.

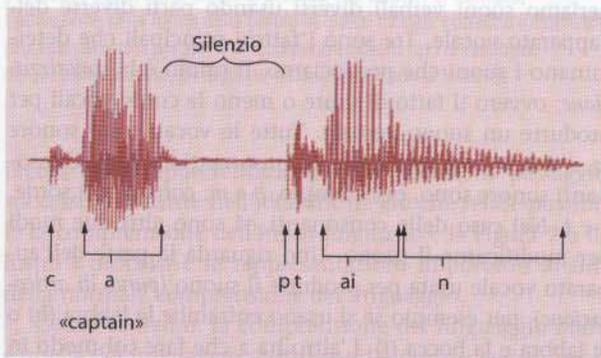
Per farci un'idea di quale impresa una persona debba affrontare ogni volta che ascolta un enunciato, è utile sapere come riusciamo a produrre i differenti suoni. Noi generiamo suoni verbali diversi usando parti diverse dell'apparato vocale. Tre sono i fattori principali che determinano i suoni che produciamo. Il primo è la *sonorizzazione*, ovvero il fatto di usare o meno le corde vocali per produrre un suono verbale. Tutte le vocali sono sonore (*a, e, i, o, u*), ma non tutte le consonanti lo sono. Consonanti sonore sono, per esempio, *b* e *m*; consonanti sorde, *s* e *t*. Nel caso delle consonanti, vi sono altri due modi per modificarne il suono. Uno riguarda la parte dell'apparato vocale usata per produrre il suono (*punto di articolazione*), per esempio se si usano entrambe le labbra (*b*) o le labbra e la bocca (*f*). L'altro ha a che fare col modo in

<sup>(1)</sup> La lingua italiana ne ha 30, che è anche il numero medio nelle diverse lingue. [N.d.T.]

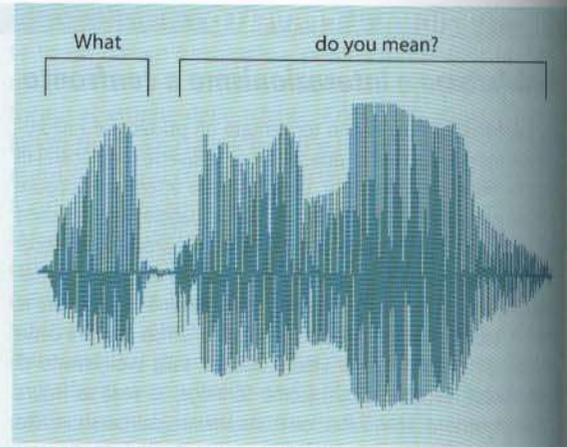
cui viene modificato il flusso d'aria (*modo di articolazione*); per esempio, una *p* viene prodotta bloccando il flusso d'aria, mentre una *l* non lo ostruisce affatto. Nel caso delle vocali vi è un altro meccanismo per modificare i suoni: tramite la posizione della lingua entro la bocca. La lingua infatti può essere posizionata in alto o in basso, in avanti o all'indietro.

Sapere che i fonemi sono le unità costitutive del linguaggio parlato non semplifica affatto il compito dell'ascoltatore. Vi sono molte altre difficoltà, riguardo ai segnali verbali, che il suo cervello deve risolvere; alcune di queste dipendono dalla variabilità del segnale. Per esempio, i suoni variano in base al contesto in cui sono pronunciati (mancanza di invarianza). Quindi, benché entrambi i segnali comincino con lo stesso fonema, la sillaba *bo* è molto diversa dalla sillaba *bi*, mentre *bi* è molto simile a *di*, anche se comincia con un fonema diverso. Perciò la pronuncia di un fonema cambia in misura straordinaria, in funzione del fatto che esso sia seguito da una *o* oppure da una *i*. Ciononostante un ascoltatore è in grado di percepire una *b* e di distinguerla da una *d*. Un altro problema che l'ascoltatore deve affrontare è dato dalla variabilità nella produzione dello stesso suono quando a pronunciarlo sono parlanti diversi, per esempio una persona di sesso maschile o invece femminile.

Altri problemi di chi ascolta dipendono dal fatto che spesso i fonemi non si presentano come piccoli, ben separati, pezzi (*chunk*) di informazione; in altre parole difettano di segmentazione. Mentre nel linguaggio scritto parole e frasi hanno confini fisici netti, nel discorso orale tali confini vanno quasi sempre perduti. Nel leggere questo testo, vedete ogni parola separata dall'altra da uno spazio bianco e ogni frase conclusa da un punto, segnali fisici che vi aiutano a discriminare le parole e le frasi. Nel discorso, invece, i confini delle parole sono ambigui, come si può vedere dalla Figura 9.7, dove la forma d'onda della parola *captain* appare come se in realtà rappresentasse due vocaboli, per via di una pausa – un «silenzio» – all'interno della parola.



**9.7** Forma d'onda del suono della parola *captain* [capitano]. Si noti la pausa [silenzio] all'interno della parola. Il tempo aumenta da sinistra verso destra e l'ampiezza è registrata sull'asse verticale. Per gentile concessione di Tamara Swaab.

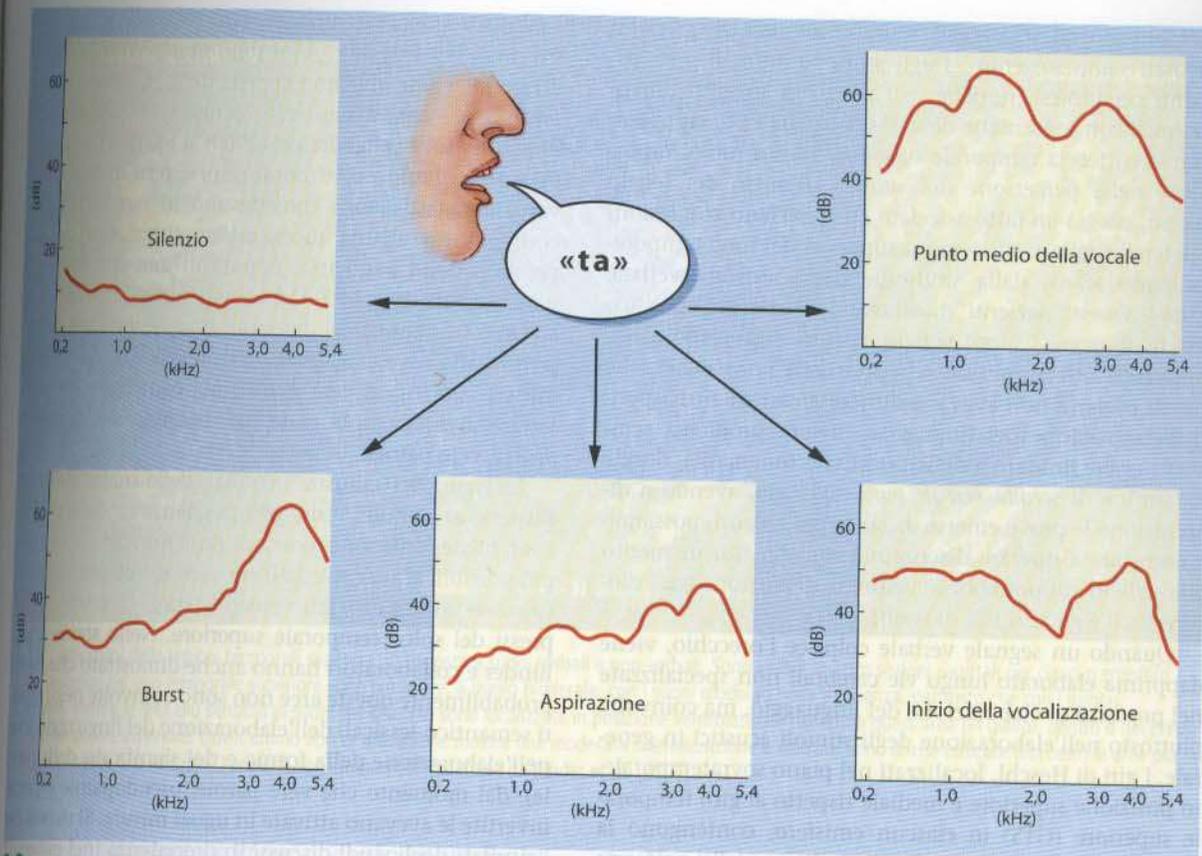


**9.8** Forma d'onda del suono della domanda *What do you mean?* [Che cosa vuoi dire?]. Si noti l'assenza di separazione fisica tra le parole *do you mean*. Benché il segnale fisico dia solo scarse indicazioni sui punti in cui le parole iniziano e finiscono, il sistema del linguaggio riesce a distinguerle come parole diverse e utilizzarle ai fini della comprensione. Per gentile concessione di Tamara Swaab.

Oltre al problema dei silenzi all'interno delle parole, vi è il fatto che nelle frasi di un enunciato orale mancano chiare pause fra le parole, perché queste diventano *contornate*, cioè l'inizio dell'una si unisce alla fine dell'altra. Ne è un esempio la forma idiomatica inglese «I dunno» al posto di «I don't know». Come si vede nella Figura 9.8, non vi sono confini netti tra le parole «do you mean» quando sono pronunciate alla normale velocità di conversazione (cioè, come *discorso connesso*). Questo problema della mancanza di confini netti dentro e fra le parole del linguaggio orale è stato definito «problema della segmentazione».

A questo punto è chiaro che l'ascoltatore deve confrontarsi con un'enorme variabilità dell'input. Nel linguaggio parlato, l'analisi percettiva dell'input uditivo deve tenere conto di tutte queste variabili, quindi non può esservi una relazione univoca, di uno-a-uno, fra segnale fisico e rappresentazioni nella memoria. Ciò ha imbarazzato molti ricercatori, inducendoli a chiedersi quali potrebbero essere le unità astratte della rappresentazione, nel caso dell'input orale.

Alcuni ricercatori hanno proposto che queste rappresentazioni siano costruite sulle proprietà spettrali (di frequenza) del segnale in ingresso, proprietà che variano a seconda dei suoni, come si può vedere nella Figura 9.9. Le caratteristiche tratte dall'analisi spettrale potrebbero formare una rappresentazione fonetica, e questa costituire il codice di accesso alle rappresentazioni fonologiche. Ma sono state proposte anche altre unità di rappresentazione, come il fonema in quanto tale, le sillabe e il modo in cui il parlante ha pronunciato intenzionalmente il fonema. Altre teorie hanno addirittura respinto l'idea che esistano unità di rappresentazione discrete per il segnale verbale.



**9.9** Le proprietà spettrali variano a seconda dei suoni. Il suono *ta* può essere scomposto in cinque diverse bande critiche, ognuna delle quali contiene particolari frequenze (in kHz, sull'asse orizzontale). Per esempio, nelle fasi di *burst* il suono si compone soprattutto di alte frequenze, comprese nella fascia 4-5 kHz, con elevata potenza (in dB, asse verticale). Adattata da Klatt (1989).

Come facciamo, allora, a decodificare l'input orale? Fortunatamente esistono anche altri indizi che permettono di dividere il flusso del discorso in segmenti significativi, in particolare le informazioni *prosodiche*, ovvero quelle che l'ascoltatore ricava dal ritmo del discorso e dall'intonazione della voce del parlante. Il ritmo viene impresso al discorso variando la durata delle parole e interponendo tra di esse delle pause. La prosodia è evidente in tutti gli enunciati espressi in forma orale, ma forse si rivela con la massima chiarezza quando un parlante rivolge una domanda o pone l'enfasi su qualcosa. Quando intende porre una domanda, un parlante verso la fine della frase alza la frequenza della voce; quando vuole dare risalto a una certa parte del discorso, aumenterà il volume della voce e inserirà una pausa dopo la parte critica.

Nella loro ricerca psicolinguistica Ann Cutler, ora in Olanda al Max Planck Institute for Psycholinguistics, e i suoi collaboratori hanno rilevato altri indizi che possono servire per segmentare il flusso continuo del discorso. Questi ricercatori hanno dimostrato che gli ascoltatori anglofoni si servono delle sillabe accentate (sillabe forti) per stabilire i confini delle parole. Per esempio, una parola come *lettuce* (lattuga), con l'accento sulla prima sillaba, solitamente è percepita come una singola parola e non

due (come sarebbe «let us»). Invece parole come *investes*, con l'accento sull'ultima sillaba, solitamente sono percepite come due parole («in vests») e non come una sola (anche se sappiamo che è un'unica parola). È interessante notare che in altre lingue, come l'olandese e il francese, le sillabe in quanto tali sembrano essere più importanti dell'accento nel guidare l'ascoltatore a segmentare il flusso del discorso. Quando si chiede a parlanti queste lingue di rilevare una stringa di lettere entro una parola, si dimostrano più veloci quando la stringa corrisponde esattamente a una sillaba della parola che hanno udito, mentre hanno più difficoltà nel riconoscimento quando la stringa è più lunga o più corta di una sillaba. Per esempio, soggetti di lingua madre olandese riescono molto velocemente a rilevare «bak» nella parola *bakker* (panettiere) di cui costituisce la prima sillaba, mentre la riconoscono più lentamente in *baken* (falò), in cui la prima sillaba è «ba» e non «bak».

**Substrati neurali dell'elaborazione del linguaggio orale** Ora che abbiamo identificato gli stadi iniziali della comprensione del discorso, esaminandoli alla luce delle acquisizioni teoriche e sperimentali della psicolinguistica, affronteremo la questione del dove siano localizzati

nel cervello questi processi e da quali circuiti e sistemi neurali siano sostenuti. Dagli studi su animali e su pazienti cerebrolesi, nonché dall'analisi di soggetti umani normali con le tecniche della fMRI e della PET, sappiamo che la corteccia temporale superiore ha un ruolo importante nella percezione dei suoni. All'inizio del secolo scorso, era già un fatto assodato che i pazienti con lesioni bilaterali limitate alle regioni superiori del lobo temporale erano affetti dalla sindrome detta «sordità verbale pura». Questi pazienti mostravano un deficit specifico nel riconoscere i suoni verbali, mentre riuscivano a elaborare gli altri suoni in modo pressoché normale. Poiché questi pazienti non avevano difficoltà con gli altri aspetti dell'elaborazione del linguaggio, il loro problema sembrava essere limitato a deficit uditivi o fonemati, donde il termine di *sordità verbale pura*. Ma oggi, avendo a disposizione le prove emerse da studi più recenti, possiamo cominciare a operare discriminazioni più fini in merito alla sede in cui potrebbe avvenire la distinzione tra i suoni verbali e gli altri tipi di suoni.

Quando un segnale verbale colpisce l'orecchio, viene dapprima elaborato lungo vie cerebrali non specializzate nel processo di elaborazione del linguaggio, ma coinvolte piuttosto nell'elaborazione degli stimoli acustici in generale. I giri di Heschl, localizzati nel piano sovratemporale, in posizione superiore e mediale rispetto al giro temporale superiore (GTS) in ciascun emisfero, contengono la corteccia uditiva primaria, ovvero l'area della corteccia che elabora per prima l'input uditivo (si veda il Capitolo 3). Le aree che circondano i giri di Heschl estendendosi nel GTS costituiscono la corteccia uditiva di associazione. Studi fMRI e PET su soggetti umani hanno dimostrato che, in entrambi gli emisferi, i giri di Heschl e il GTS sono attivati nella stessa misura sia dai suoni verbali sia da quelli non-verbali (per esempio, toni puri), e che questa attivazione non si rivela particolarmente selettiva per nessuno dei due tipi di suoni. Questo pattern dell'attivazione suggerisce che il GTS sia importante per la percezione uditiva, ma che non sia necessariamente specializzato nell'elaborazione dei suoni verbali. Come vedremo più avanti (nel paragrafo «Afasia»), questo risultato ha rappresentato una grossa sorpresa. Nell'Ottocento, il famoso neurologo Karl Wernicke trovò che i pazienti con lesioni alla regione temporo-parietale sinistra estese al GTS avevano difficoltà a comprendere il linguaggio orale e scritto. Ciò portò alla nozione, ormai vecchia di oltre un secolo, che quest'area – chiamata in suo onore *area di Wernicke* – fosse cruciale per la comprensione delle parole. La anche nelle osservazioni originali di Wernicke le lesioni non erano limitate al GTS. Oggi possiamo con sicurezza concludere che molto probabilmente il GTS da solo non costituisce la sede della comprensione verbale.

Se non avviene nel GTS, in quale altra parte del cervello ha luogo la distinzione tra i suoni verbali e tutti gli altri suoni? Vi sono forti indizi che il settore mediano del solco temporale superiore, in entrambi gli emisferi (ma

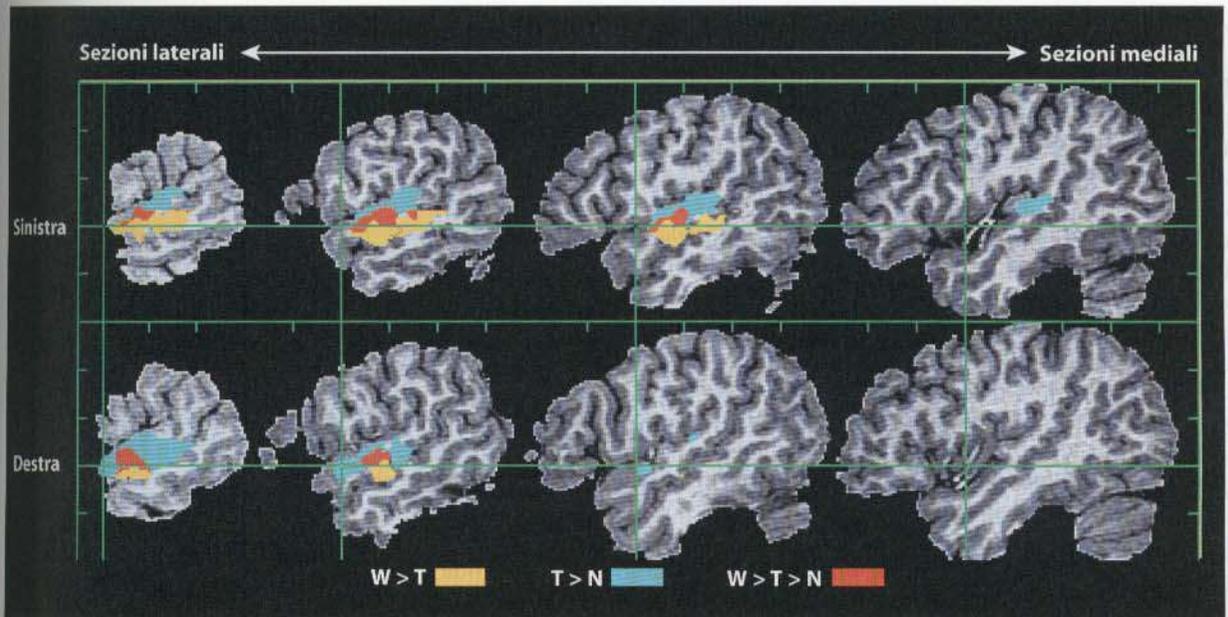
soprattutto nel sinistro), svolga un ruolo rilevante in questo processo. Queste regioni sono situate ventralmente al GTS, che, come abbiamo appena detto, è un'area importante per le analisi acustiche. In uno studio fMRI, Jeffrey Binder e i suoi collaboratori (2000) al Medical College del Wisconsin hanno confrontato tipi diversi di suoni non-verbali. Questi suoni consistevano in rumori che non contenevano alcuna modulazione sistematica dell'ampiezza o della frequenza, oppure in toni con frequenza modulata fra 50 e 2400 Hz. I suoni verbali, invece, consistevano in vere parole invertite (parole registrate e fatte sentire alla rovescia), pseudoparole (stringhe pronunciabili che non sono vere parole, ma contengono le stesse lettere di una parola reale, per esempio *sked* invece di *desk*) e vere parole.

La Figura 9.10 illustra i risultati dello studio di Binder. Rispetto al rumore, i toni con frequenza modulata attivavano bilateralmente le porzioni posteriori del GTS. Le aree più sensibili ai suoni verbali che non ai toni puri erano localizzate in regioni più ventro-laterali, all'interno o nei pressi del solco temporale superiore. Nello stesso studio Binder e collaboratori hanno anche dimostrato che molto probabilmente queste aree non sono coinvolte negli aspetti semantico-lessicali dell'elaborazione del linguaggio (cioè nell'elaborazione della forma e del significato delle parole), dal momento che vere parole, pseudoparole e parole invertite le avevano attivate in ugual misura. Si ricordi che i risultati degli studi discussi in precedenza (nel paragrafo «Substrati neurali del lessico mentale e delle conoscenze concettuali») dimostravano che le aree coinvolte nell'elaborazione delle informazioni semantico-lessicali sono per lo più lateralizzate a sinistra, e soprattutto in localizzazione ventrale rispetto alle aree temporali superiori associate alla percezione dei suoni verbali.

Si è anche tentato di identificare le aree cerebrali particolarmente rilevanti per l'elaborazione dei fonemi. La cosa si è rivelata alquanto problematica per via della difficoltà di «attivare» solo i fonemi, dato che l'udire una parola ne attiva automaticamente anche il significato. Quindi non è ancora stata trovata una risposta definitiva, ma alcuni studi fMRI e PET che hanno analizzato la lettura di parole, o l'ascolto di parole e di pseudoparole, hanno trovato attivazioni nel giro temporale medio, a volte lateralizzate all'emisfero sinistro: prova, forse, del fatto che la lettura può attivare, e spesso attiva, le informazioni fonologiche (si veda la scheda «Dal testo scritto alla rappresentazione delle parole: una o due vie?»).

### ■ Input scritto

Nel caso dell'input scritto il lettore deve riconoscere un pattern visivo. Tali pattern variano nei diversi sistemi di scrittura. La rappresentazione simbolica delle parole nella scrittura può avvenire con tre diverse modalità. Molte lingue occidentali (per esempio, l'italiano e l'inglese) usano il *sistema alfabetico*, in cui i simboli tendenzialmente



**9.10** Attivazioni delle regioni temporali superiori, in risposta a suoni verbali e non-verbali. Sono visibili quattro sezioni sagittali per ciascun emisfero. Le aree posteriori del giro temporale superiore sono più attive, a livello bilaterale, con i suoni modulati nella frequenza, piuttosto che con i rumori (in azzurro), mentre le aree più sensibili ai suoni del discorso sono localizzate in posizione ventrolaterale rispetto a quest'area (in giallo), dentro o nei pressi del solco temporale superiore. Quest'ultimo tipo di attivazione mostra una moderata lateralizzazione a sinistra. Sono anche indicate (in rosso) le aree più attive con le parole (W) e i toni (T) anziché con i rumori (N). Adattata da Binder et al. (2000).

rappresentano i *fonemi*. Le lingue che usano il sistema alfabetico differiscono, tuttavia, rispetto al grado di corrispondenza fra lettere e suoni. In alcune lingue, come il finlandese e lo spagnolo [e l'italiano], tale corrispondenza è stretta (ortografia regolare). Nell'inglese, invece, la corrispondenza fra lettera e suono spesso viene meno, il che significa che l'inglese ha un'ortografia irregolare. Confrontate, per esempio, le differenze nella pronuncia dei seguenti tre vocaboli inglesi, che pure cominciano con le stesse quattro lettere: *sign*, *signal* e *signing*. La mancanza di corrispondenza fra lettera e suono rende più difficile imparare la corretta ortografia (e potrebbe anche avere conseguenze sulla lettura, si veda la scheda «Dal testo scritto alla rappresentazione delle parole: una o due vie?»). Il livello successivo di organizzazione è rappresentato dal *morfema*, cioè la più piccola unità linguistica dotata di significato, ovvero una parola e le sue variazioni (per esempio, i prefissi o i suffissi che vengono aggiunti, come nel caso di /sign/ e /sign//ing/). Fra le parole morfologicamente correlate tende a esservi una corrispondenza ortografica leggermente maggiore.

Altre lingue, come il cinese e il giapponese, hanno sistemi di scrittura completamente differenti. La scrittura giapponese *Kana* usa un sistema sillabico, in cui ogni simbolo rappresenta una sillaba. Ciò è reso possibile dal fatto che il giapponese ha solo un centinaio di sillabe uniche mentre l'inglese, per esempio, ne ha quasi un migliaio. Nel terzo sistema di scrittura, il sistema logografico, si usa uno specifico simbolo per ogni parola o per ogni morfe-

ma. Una lingua naturale il cui sistema di scrittura è molto simile al sistema logografico è il cinese, dove i caratteri possono simbolizzare interi morfemi. Poiché i caratteri possono rappresentare anche i fonemi, il cinese non è un sistema logografico puro. Questa modalità di rappresentazione nella scrittura è giustificata dal fatto che il cinese è una lingua tonale, per cui la stessa parola può avere significati diversi a seconda dell'innalzamento o dell'abbassamento del tono nelle vocali – cosa che sarebbe difficile in un sistema in cui i simboli rappresentassero soltanto i suoni verbali, ovvero i fonemi.

I tre sistemi di scrittura rappresentano con simboli unità linguistiche differenti (fonemi, sillabe e morfemi o parole), ma tutti e tre si servono di simboli arbitrari, cioè di rappresentazioni astratte che non assomigliano a ciò che rappresentano. La parola inglese *dog*, così come l'equivalente italiano «cane», non ha alcuna somiglianza con l'essere peloso, che agita la coda e abbaia quando vede il postino.

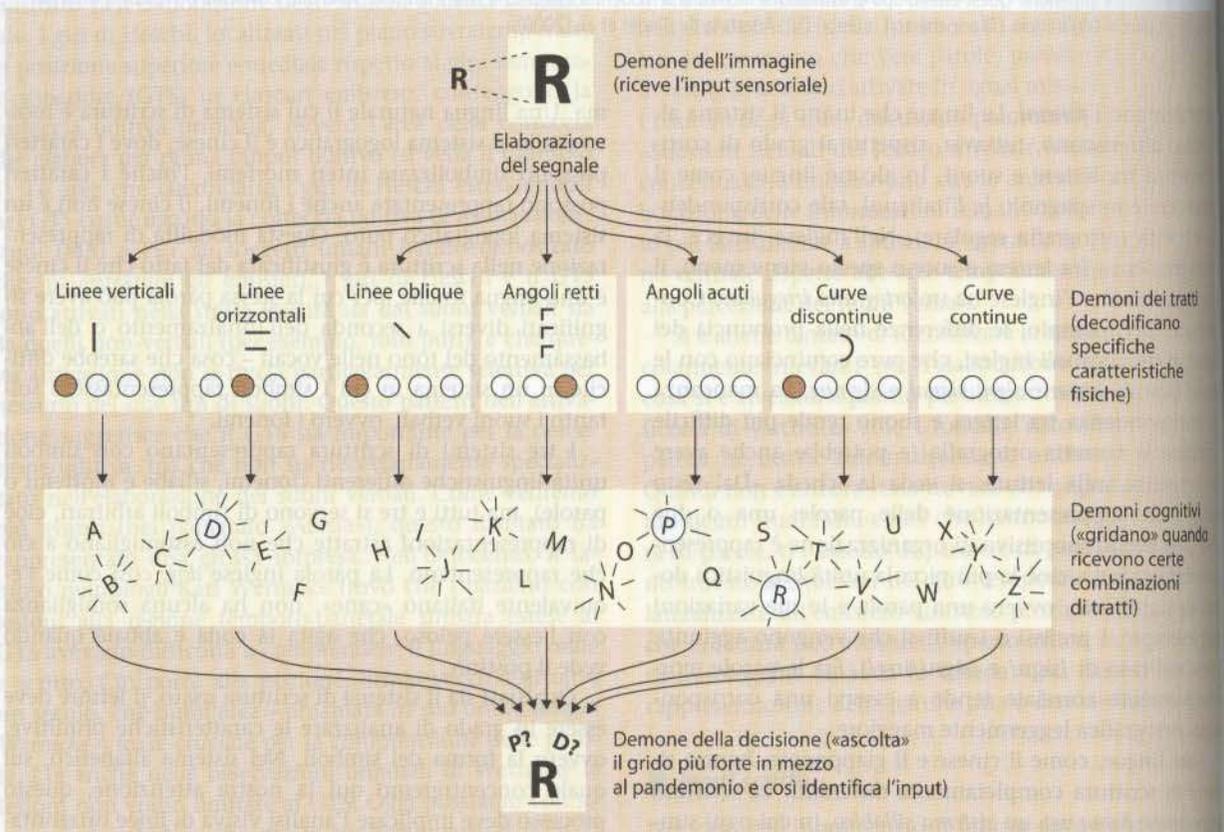
Qualsiasi sia il sistema di scrittura usato, il lettore deve essere in grado di analizzare le caratteristiche primitive, ovvero la forma dei simboli. Nel sistema alfabetico, sul quale concentreremo qui la nostra attenzione, questo processo deve implicare l'analisi visiva di linee orizzontali, verticali, curve chiuse, curve aperte, intersezioni e altre forme elementari.

Nella Figura 9.11 si può vedere un modello teorico per il riconoscimento delle lettere, il cosiddetto *modello pandemonio* proposto da O.G. Selfridge nel 1959. In questo

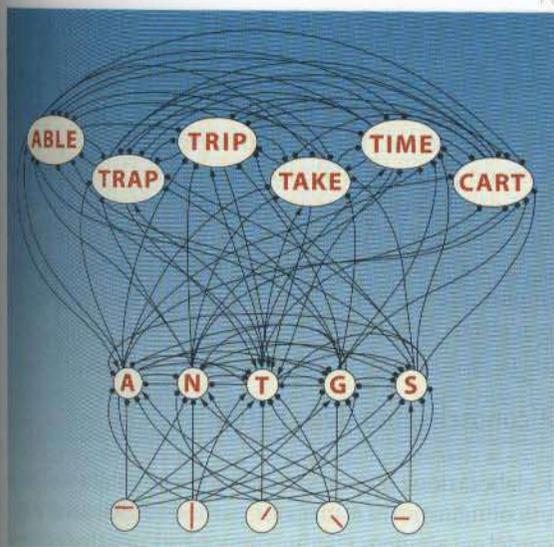
modello, l'input sensoriale («R») è temporaneamente immagazzinato come memoria iconica dal cosiddetto *demone dell'immagine*. Selfridge usò il termine «demone» per riferirsi a uno specifico stadio, o sottostadio, nell'elaborazione dell'informazione. Ventotto *demoni dei tratti*, sensibili a caratteristiche elementari come le curve, le linee orizzontali e così via, iniziano poi a decodificare i tratti nella rappresentazione iconica dell'input sensoriale. La Figura 9.11 indica la localizzazione dei demoni dei tratti. Nel passaggio seguente tutte le rappresentazioni delle lettere con queste caratteristiche sono attivate da *demoni cognitivi*. Infine la rappresentazione che meglio corrisponde all'input viene selezionata dal *demone della decisione*.

Nel 1981 James McClelland e David Rumelhart hanno proposto un altro modello per il riconoscimento visivo delle lettere. Questo modello, che ha esercitato una grande influenza, è un modello computazionale che postula tre livelli di rappresentazione: un livello per i tratti delle lettere che compongono le parole, uno per le lettere e uno per la rappresentazione delle parole. Una proprietà molto importante di questo modello è che presuppone un flusso di informazioni diretto dall'alto in basso (cioè a partire dai

livelli cognitivi superiori, come quello delle parole, a quello delle lettere, e a influenzare processi più precoci che avvengono ai livelli più bassi della rappresentazione (il livello delle lettere e/o il livello delle caratteristiche fisiche). Questo modello è in netto contrasto con quello di Selfridge, dove il flusso delle informazioni scorre rigorosamente dal basso in alto (dal demone dell'immagine, ai demoni dei tratti, ai demoni cognitivi e infine al demone della decisione). Questa differenza fra i due modelli è un esempio della cruciale distinzione fra due visioni teoriche, la modularità e l'interattività, di cui vedremo altri esempi più avanti in questo capitolo (si veda la scheda «Modularismo e interattività a confronto»). Un'altra importante differenza fra i due modelli è che in quello di McClelland e Rumelhart i processi possono avvenire in parallelo, per cui possono essere elaborate parecchie lettere nello stesso momento, mentre nel modello di Selfridge viene elaborata una lettera per volta, in un procedimento seriale. La Figura 9.12 indica che il modello di McClelland e Rumelhart ammette collegamenti sia eccitatori sia inibitori fra tutti i livelli. Se una persona legge, per esempio, la parola *viaggio*, a ciò seguirà l'attivazione a tutti i livelli del



**9.11** Il *modello pandemonio* proposto da O.G. Selfridge (1959) per il riconoscimento delle lettere. Se l'input è in forma scritta, il lettore deve riconoscere un pattern, a partire dall'analisi dell'input sensoriale. L'input sensoriale è temporaneamente immagazzinato nella memoria iconica dal cosiddetto demone dell'immagine, dopo di che le rappresentazioni iconiche sono decodificate da un insieme di ventotto demoni dei tratti. Le rappresentazioni delle lettere con queste caratteristiche attivano poi i demoni cognitivi. Infine il demone della decisione sceglie la rappresentazione che meglio corrisponde all'input. Adattata da Coren et al. (1994).



**9.12** Frammento della rete di un modello connessionista per il riconoscimento delle lettere. I nodi ai tre diversi livelli postulati dal modello rappresentano i tratti fisici delle lettere, le lettere e le parole. I nodi su ciascun livello possono influenzare lo stato attivazionale dei nodi sui livelli tramite connessioni eccitatorie (frecce) o inibitorie (linee). Adattata da McClelland e Rumelhart (1981).

rappresentazioni per le caratteristiche e le lettere della parola *trip*, e per la parola *trip* in quanto tale. Ma quando viene attivato, il nodo lessicale *trip* invia segnali inibitori ai livelli più bassi, così che saranno inibite le lettere e le caratteristiche estranee alla parola *trip*.

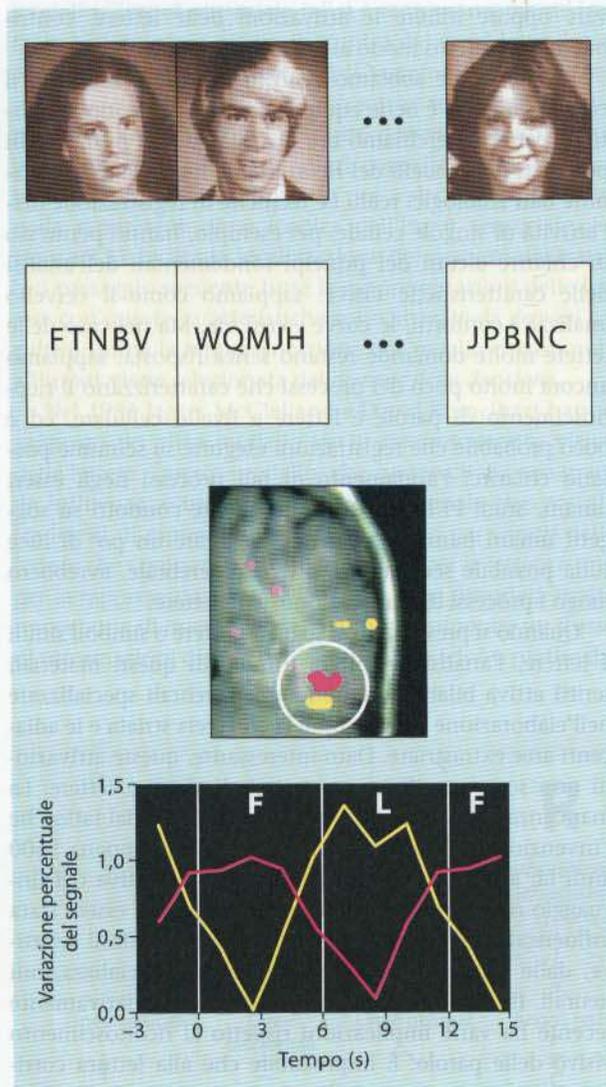
I modelli computazionali occupano un posto importante nelle neuroscienze cognitive, perché permettono agli scienziati di formalizzare con precisione le componenti essenziali di un processo cognitivo, e in quale modo tali componenti possono interagire. La validità empirica di un modello può quindi essere saggiata in base a fenomeni comportamentali della vita reale o a dati fisiologici. Il modello connessionista di McClelland e Rumelhart riproduce molto bene la realtà, per quanto riguarda un fenomeno che è stato chiamato *effetto di superiorità della parola*. Sperimentalmente questo effetto può essere osservato presentando per pochi istanti ai soggetti tre tipi di stimoli visivi. Lo stimolo può consistere in una parola (*trip*, viaggio), in una non-parola (*pirt*) o in una lettera (*t*); dopo di che, si chiede ai soggetti di dire se hanno visto una *t* oppure una *k*. La prestazione dei soggetti in questo compito di identificazione è migliore quando la lettera è apparsa all'interno di una vera parola, rispetto a una non-parola; ma il dato più interessante è che la prestazione dei soggetti è migliore quando hanno visto la lettera all'interno di una parola, che non come singola lettera. Questo importante risultato indica che probabilmente le parole non sono percepite lettera per lettera. Il modello di Rumelhart e McClelland è in grado di spiegare l'effetto di superiorità della parola, in quanto presuppone che l'informazione *top-down* relativa alle parole possa atti-

vare oppure inibire le attivazioni delle lettere, contribuendo in questo modo al loro riconoscimento.

Poiché, come abbiamo visto in capitoli precedenti, il cervello umano è bene equipaggiato per il riconoscimento di pattern, cerchiamo ora di sostanziare i primi livelli postulati dai modelli del riconoscimento delle lettere tramite dati fisiologici reali. Le tecniche di registrazione dell'attività di singole cellule, per esempio, hanno permesso di chiarire alcuni dei principi fondamentali dell'analisi delle caratteristiche visive: sappiamo come il cervello analizza i contorni, le curve e così via. Ma nel caso delle lettere molte domande restano senza risposta: sappiamo ancora molto poco dei processi che caratterizzano il riconoscimento di parole e lettere a livello cellulare, ed è poco probabile che registrazioni eseguite su scimmie possano chiarirci l'andamento di tali processi negli esseri umani. Studi PET e fMRI recentemente condotti su soggetti umani hanno cominciato a gettare un po' di luce sulla possibile sede in cui, a livello cerebrale, avrebbero luogo i processi di elaborazione delle lettere.

Quando si presentano ai soggetti lettere o simboli simili a lettere, l'analisi percettiva iniziale di questi materiali scritti attiva bilateralmente le aree cerebrali specializzate nell'elaborazione visiva, come la corteccia striata e le adiacenti aree extrastriate. Dato interessante, queste attivazioni non sono specifiche per i simboli simili a lettere. La mancanza di specializzazione può dipendere dal fatto che l'invenzione del linguaggio scritto risale ad appena 5500 anni fa, all'incirca. Invece l'elaborazione uditiva del linguaggio orale, essendo molto più antica, può essere stata influenzata nel corso dell'evoluzione da pressioni selettive, dalle quali possono essere scaturite specializzazioni neurali. Il fatto che il linguaggio scritto sia relativamente recente ha varie implicazioni rispetto al riconoscimento visivo delle parole. È improbabile che alla lettura corrisponda un sistema specializzato, mentre è probabile che alcuni aspetti della lettura siano sostenuti da processi visivi d'ordine generale. Per esempio, per elaborare l'input visivo, il cervello deve analizzare le caratteristiche fisiche delle lettere. È possibile che questo processo utilizzi lo stesso sistema che effettua l'analisi delle caratteristiche nell'ambito del generale riconoscimento degli oggetti visivi.

**Substrati neurali dell'elaborazione del linguaggio scritto** L'identificazione delle unità ortografiche avviene probabilmente nelle regioni occipito-temporali dell'emisfero sinistro. In studi fMRI su soggetti normali, Gregory McCarthy della Duke University e i suoi collaboratori (Puce et al., 1996) hanno confrontato i quadri di attivazione cerebrale in risposta a lettere, e quelli osservati in risposta a facce e a pattern con texture casuali. Hanno così trovato che le regioni occipito-temporali della corteccia si attivano preferenzialmente in risposta a stringhe di lettere non pronunciabili (Figura 9.13). Il dato interessante è che questo risultato ha confermato le conclusioni di un precedente studio dello stesso gruppo (Nobre et al.,



**9.13** Confronto tra i quadri di attivazione prodotti da lettere (L) e da facce (F) nella porzione ventrale dell'emisfero sinistro (cerchio bianco nella foto della scansione). La sezione è coronale e mostra soltanto l'emisfero sinistro, a livello della corteccia occipitale anteriore. La scansione mostra i voxel attivati, sovrapposti all'immagine anatomica corrispondente. Le facce hanno attivato una regione del giro fusiforme laterale (giallo), mentre le stringhe di lettere hanno attivato una regione del solco occipito-temporale (rosso). Il grafico mostra il corrispondente andamento nel tempo delle attivazioni mediate su tutti i cicli, alternati tra facce (linee gialle) e stringhe di lettere (linee rosse). L'asse delle y rappresenta la percentuale di variazione del segnale, con un passo dello 0,5%. Il tempo (in secondi) è indicato sull'asse delle x. Si noti che le risposte emodinamiche sono lente, in quanto mostrano un picco fra 6 e 9 s dopo l'insorgenza dello stimolo ( $t = 0$ ). Da Puce et al. (1996).

1994), in cui erano state eseguite registrazioni dell'attività elettrica intracranica nelle stesse regioni del cervello, in pazienti successivamente sottoposti a intervento chirurgico per epilessia resistente ai trattamenti. In questo studio si era osservato nelle regioni occipito-temporali un ampio potenziale a polarità negativa verso i 200 ms

(N200), in risposta alla presentazione visiva di stringhe di lettere. Quest'area non era sensibile ad altri stimoli visivi quali le facce e, fatto molto importante, sembrava essere insensibile anche alle caratteristiche lessicali o semantiche delle parole. Per concludere, le lesioni in quest'area possono provocare l'*allessia pura*, ovvero la condizione in cui i pazienti non riescono a leggere le parole, mentre gli altri aspetti del linguaggio restano intatti. Questa convergenza tra prove neurologiche e di imaging fornisce indizi importanti su come il cervello umano risolve i problemi percettivi del riconoscimento delle lettere.

## Riconoscimento delle parole

L'elaborazione lessicale è un fenomeno molto studiato in psicolinguistica. La maggior parte degli scienziati è concorde nel ritenere che le componenti principali del processo siano le seguenti: l'accesso lessicale, la selezione lessicale e l'integrazione lessicale. Probabilmente l'output dell'analisi percettiva si proietta poi sulle rappresentazioni della forma delle parole, contenute nel lessico mentale. Si ha il cosiddetto **accesso lessicale** quando le rappresentazioni sono attivate e si diffondono agli attributi semantici e sintattici delle forme astratte delle parole.

Nella maggior parte dei casi l'accesso lessicale differisce a seconda che la presentazione delle parole avvenga nella modalità visiva oppure uditiva; inoltre la decodifica del segnale in entrata – tale da stabilire un contatto con le rappresentazioni della forma delle parole entro il lessico mentale – pone a chi interpreta il linguaggio un insieme di problemi, che differiscono nell'una o nell'altra modalità. Per quanto riguarda l'input scritto, c'è il problema di come riusciamo a leggere non solo le parole in cui l'ortografia non si traduce direttamente in suono, per esempio *colonel* (colonnello) [pronuncia: 'kɔ:nɛl] ma anche le pseudoparole, per le quali non esiste alcuna forma di parola corrispondente, per esempio *lonocel* [anagramma di *colonel*, privo di significato]. Le pseudoparole non possono essere lette mappando direttamente l'output ortografico su una forma di parola, dal momento che questa non c'è. Di conseguenza i ricercatori hanno suggerito che, per poter leggere *loconel*, dobbiamo tradurre le lettere nei fonemi corrispondenti. D'altra parte, volendo leggere a voce alta la parola *colonel*, la pronunceremmo in modo errato se la traducessimo direttamente nei fonemi corrispondenti; è possibile che, per evitare tali errori, venga utilizzata una via che dalle unità ortografiche passa direttamente alla rappresentazione della forma della parola. Ciò ha indotto i ricercatori a proporre per la lettura modelli a due vie: una *via diretta* dall'ortografia alla forma astratta della parola e una *via indiretta* (o *via di assemblaggio*), nella quale l'input scritto viene tradotto in un codice fonologico prima di essere mappato sulla forma della parola (per maggiori particolari, si veda la scheda «Dal testo scritto alla rappresentazione delle parole: una o due vie?»).

## COME FUNZIONA IL CERVELLO

### Dal testo scritto alla rappresentazione delle parole: una o due vie?

Lingue come l'inglese pongono delle difficoltà nella conversione delle lettere (grafemi) in suoni (fonemi), la cosiddetta *conversione grafema-fonema*. Per esempio, la combinazione «ph» si pronuncia in modo diverso in *physiology* [fisiologia] e in *uphill* [verso l'alto] e il grafema «c» è pronunciato diversamente in *cop* [poliziotto] e *cerebellum* [cervelletto]. Perciò, come facciamo a sapere come si pronuncia *physiology* quando vediamo scritta questa parola? Potremmo fare affidamento su regolarità costanti della lingua in questione. Per esempio, la combinazione «mb» implica la pronuncia separata dei suoni «m» e «b» quando il gruppo consonantico si trova in mezzo a una parola (*ambulance*), ma non quando è alla fine (*bomb*). Tuttavia è difficile riuscire a trovare regole che valgano per tutte le possibili combinazioni di lettere e di suoni: nell'inglese, ne sono esempi i vocaboli *bomber* e *bombard*. Un sistema basato su regole da solo non può bastare. Questo problema ha portato Max Coltheart e collaboratori (1993), della Macquarie University in Australia, ad avanzare l'ipotesi che debba esistere una via diretta fra la lettura e la rappresentazione delle parole, cioè dall'input ortografico costituito dall'intera parola alle rappresentazioni nel lessico mentale. Quindi il passaggio dal testo scritto alle rappresentazioni delle parole nel lessico mentale potrebbe avvenire in due modi, ovvero implicare due vie: la traduzione dal grafema al fonema (la cosiddetta *via di assemblaggio*), oppure dall'input scritto al lessico mentale (o *via diretta*).

Prove dell'esistenza di due vie emergono dai pazienti con dislessia acquisita, i cui problemi di lettura sono dovuti a danni cerebrali. Il deficit è modalità-specifico, ovvero questi pazienti sono capaci di comprendere il linguaggio parlato e di produrre il linguaggio scritto (alessia senza agrafia). Sono stati osservati due tipi di dislessia acquisita. I pazienti con dislessia profonda o fonologica non riescono a leggere ad alta voce pseudoparole come *grimp*, ma non hanno alcun problema con parole lunghe e difficili come *chrysanthemum*

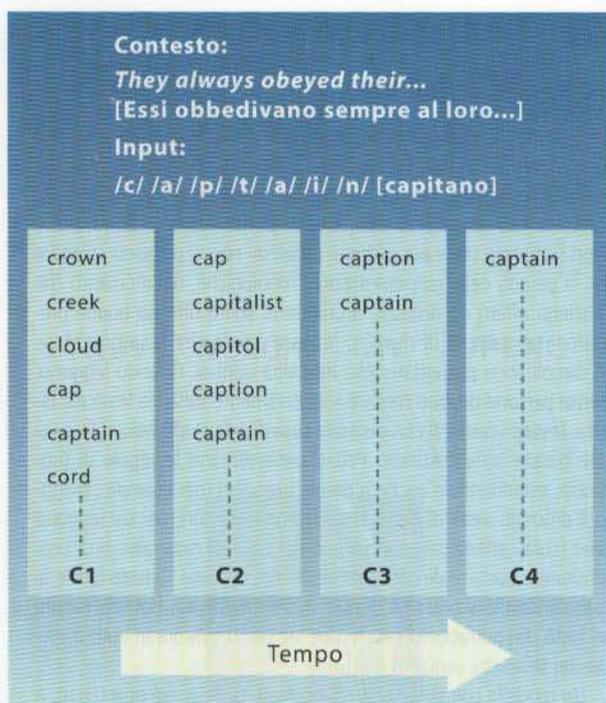
[crisantemo]. Questi pazienti, quindi, non riescono a leggere ad alta voce le parole che non hanno una rappresentazione corrispondente nel lessico mentale, mentre le parole rappresentate nel lessico non pongono loro alcun problema. Questi pazienti commettono anche errori semantici (*rose* per *iris*); tali problemi non si possono spiegare con la perdita delle rappresentazioni fonologiche, dal momento che i pazienti affetti da dislessia profonda di solito offrono buone prestazioni nei compiti di *rhyming* [trovare parole che fanno rima], se gli stimoli sono presentati nella modalità uditiva. Quando leggono, queste persone devono contare esclusivamente sulla via lessicale diretta. Invece i pazienti con dislessia superficiale si affidano solo a regole basate sulla costanza. Perciò generalizzano le regole di pronuncia, estendendole anche a parole irregolari (per esempio, leggono il dittongo «ea» di *head*, testa, come «ee» [i/i], per cui leggono *heed* [cura, attenzione], anziché *head*), quindi mostrano una propensione a tradurre direttamente le lettere in suoni. Queste forme di dislessia costituiscono una doppia dissociazione, un potente indizio del fatto che potrebbero esservi due vie per convertire in output verbale un testo che vediamo scritto.

Un modello computazionale ha cercato di spiegare questi dati, a partire però dall'assunto che vi sia un'unica via, basata sempre sulle informazioni fonologiche, usate in alcuni casi più che in altri (Seidenberg e McClelland, 1989). Questo modello prevede un'interazione continua fra le unità di input scritte e le unità fonologiche; l'esistenza di un feedback permette al modello di apprendere la corretta pronuncia delle parole. Questo modello ha avuto successo nel riprodurre alcuni dei fenomeni che abbiamo appena descritto, ma non si è rivelato molto buono nella lettura delle pseudoparole (parole che assomigliano nella forma e nel suono a parole reali ma che non lo sono, per esempio *fisch*), cosa che invece gli esseri umani non hanno alcuna difficoltà a fare.

Come si è detto in precedenza, il flusso continuo del segnale linguistico orale segna una netta differenza rispetto all'input scritto, in cui i confini tra parole sono chiaramente definiti. Un ascoltatore deve segmentare il discorso e controllare la velocità dell'input. Quando leggiamo un testo scritto possiamo sempre tornare indietro a rileggerlo, ma quando cerchiamo di capire ciò che una persona sta dicendo, possiamo anche perdere il filo del discorso. Quindi il linguaggio parlato ha una dimensione temporale, che deve essere annoverata tra i fattori rilevanti da qualunque modello che ne voglia spiegare la comprensione.

A tale riguardo un autorevole modello è il cosiddetto *modello della coorte*, proposto dallo psicologo inglese William Marslen-Wilson (Marslen-Wilson e Tyler, 1980). Questo modello (Figura 9.14) postula che l'elaborazione del discorso cominci con il primissimo suono, o fonema, che l'ascoltatore identifica come inizio di una parola. È chiaro che inizialmente, quando non sono ancora disponibili tutte le informazioni percettive, verrà attivata più

di una rappresentazione, perché più di una rappresentazione si accorderà alla prima parte dell'output del sistema percettivo. Fra tutte le rappresentazioni di parole che sono state attivate, verrà poi selezionata quella che meglio corrisponde all'input sensoriale: un processo che sopra abbiamo definito *selezione lessicale*. Ecco un esempio di come può funzionare la selezione lessicale nella comprensione delle parole. Il suono iniziale «ca» della parola *captain* (capitano) non solo si accorda con *captain*, ma anche con parole come *cap*, *capital*, *capitalist*, *caption* e *capitol*. Quando sentiamo «ca», tutte le forme astratte delle parole che corrispondono a questo suono iniziale saranno attivate, generando quella che viene definita una *coorte della parte iniziale della parola*. Con l'aumentare delle informazioni percettive disponibili, il numero delle rappresentazioni attivate si restringe fino a ridursi all'elemento che meglio corrisponde all'input, con conseguente selezione della parola *captain* e disattivazione delle altre forme di parola. In questo modello la selezione della parola appropriata dipende dalle informazioni sensoriali in



**9.14** Il modello della coorte, proposto per spiegare il riconoscimento del segnale verbale orale. In un primo momento vengono attivate tutte le parole che incominciano con lo stesso suono (colonna C1). Col passare del tempo, si riduce il numero dei competitori che concordano col segnale reale; perciò gli elementi della coorte diminuiscono sempre di più, finché resta soltanto il candidato corretto (per ulteriori spiegazioni si veda il testo).

ingresso e dal numero di competitori nella coorte generata dalla parte iniziale della parola. Una parola viene selezionata al suo punto di unicità, ovvero nel momento in cui si distingue in modo specifico da tutti i competitori.

Questo modello tiene conto degli aspetti temporali della percezione del discorso. Tuttavia c'è anche un'altra difficoltà, che qualsiasi ascoltatore si trova ad affrontare. In una lingua come l'inglese, per esempio, una quarantina di fonemi [in italiano, una trentina] basta a rappresentare tutte le parole, ma il lessico mentale contiene decine di migliaia di parole. Ciò significa necessariamente che molte parole si assomigliano o ne racchiudono altre al loro interno. Per esempio una parola come *strange* (strano) contiene al suo interno *range* (gamma) e assomiglia a *straight* (dritto) e *change* (cambio). L'ascoltatore ha il difficile compito di identificare quali parole siano effettivamente presenti nel flusso dell'input linguistico. Come si è detto precedentemente, per fare questo la persona può servirsi di indizi sublessicali, come la distribuzione degli accenti nelle parole.

Per quanto riguarda il problema dell'identificazione delle parole, recentemente sono stati proposti modelli su come avviene il riconoscimento di parole presentate nella modalità uditiva, nei quali la competizione fra candidate non è limitata alle parole che appartengono alla stessa

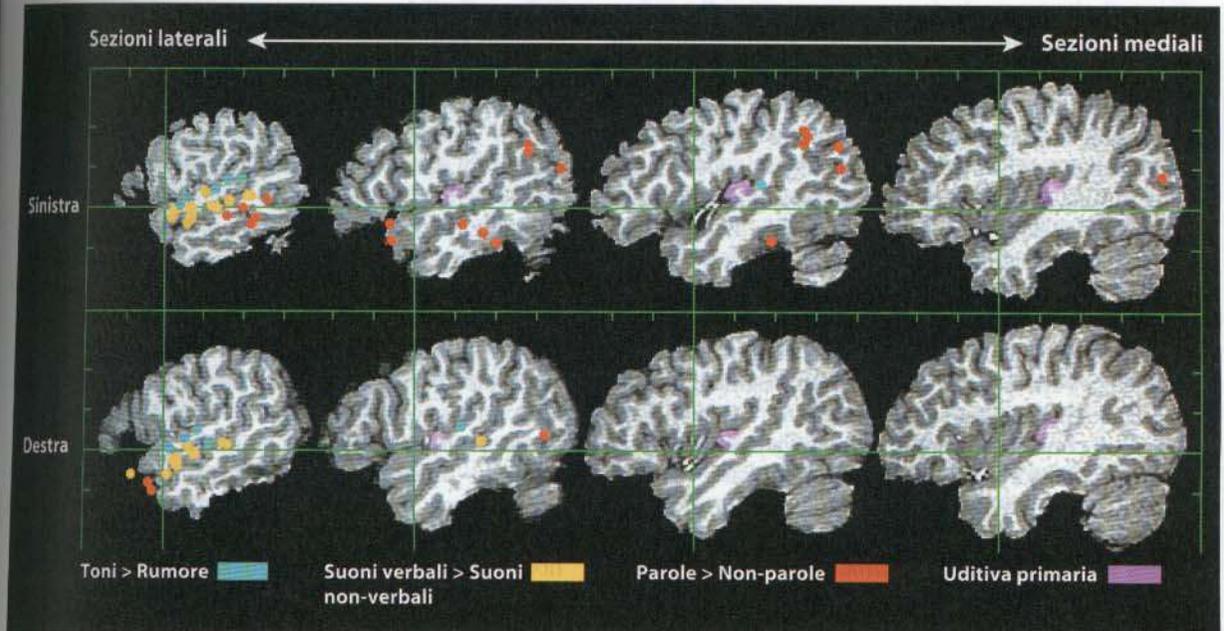
coorte della parte iniziale (come nell'esempio fornito sopra). Secondo queste teorie, infatti, vengono attivate tutte le forme lessicali che si sovrappongono parzialmente con l'input linguistico. Per chiarire, torniamo all'esempio precedente. Quando un anglofono sente la parola *strange*, vengono attivate tutte le forme astratte di parole che coincidono parzialmente con questo input, come *strain*, *range*, *straight* e *change*. Poiché soltanto la parola *strange* corrisponde completamente al segnale reale in entrata, questa parola vincerà la competizione con tutte le altre forme che non si accordano completamente con l'input, e lo farà esercitando un'inibizione sui competitori.

Uno studio svolto dall'équipe di Ann Cutler (si veda, per esempio, Norris et al., 1995) ha trovato prove a favore dell'ipotesi che la competizione abbia un ruolo importante nel riconoscimento della parola. Questi ricercatori hanno dimostrato che i soggetti erano più lenti a riconoscere vere parole quando erano incluse in stringhe senza senso capaci di attivare vocaboli competitori (per esempio, *mess* entro la pseudoparola *domess*, la quale era in grado di attivare la vera parola *domestic*), rispetto a quando riconoscevano vere parole incluse in stringhe senza senso e prive di sovrapposizione con vere parole (per esempio, *mess* in *be-mess*, che non attivava nessuna vera parola).

A questo punto abbiamo descritto a grandi linee gli ingredienti importanti per la comprensione delle parole scritte e parlate. Siamo partiti, all'inizio del capitolo, col descrivere le rappresentazioni mentali delle parole e del loro significato, quindi abbiamo esaminato la percezione degli input orali e scritti. In questo paragrafo abbiamo visto come queste informazioni percettive si traducono nell'attivazione delle forme astratte delle parole, contenute nel lessico mentale. Insieme alle descrizioni, abbiamo indicato quale potrebbe essere la localizzazione cerebrale di tali processi e rappresentazioni. Queste nozioni di neuroanatomia funzionale si basano sulle prove convergenti emerse dallo studio degli specifici deficit funzionali di alcuni pazienti, dalla relazione fra la lesione cerebrale e i deficit linguistici di questi pazienti, e da alcuni dati da studi di neuroimmagine e di registrazione intracranica. Più di recente alcuni neuroscienziati hanno iniziato a sottoporre a verifica diretta questa organizzazione usando le tecniche di neuroimmagine, nell'intento di studiare i circuiti e i sistemi cerebrali coinvolti nella lettura e nell'ascolto delle parole.

### ■ Sistemi cerebrali per il riconoscimento delle parole

Per spiegare la percezione uditiva delle parole, Jeffrey Binder e collaboratori (2000) hanno proposto un modello gerarchico dell'elaborazione del discorso (Figura 9.15). Questo modello è basato su studi in cui si è utilizzata la risonanza magnetica funzionale per identificare le regioni cerebrali attivate, in relazione alle varie subcomponenti di processo nell'elaborazione del discorso. In primo luogo il flusso delle informazioni uditive scorre dalla corteccia



**9.15** Modello gerarchico dell'elaborazione del discorso (per ulteriori spiegazioni si veda il testo). Nella figura sono visibili quattro sezioni sia dell'emisfero destro sia dell'emisfero sinistro. In viola sono indicati i giri di Heschl, la sede della corteccia uditiva primaria; in azzurro sono indicate le aree dei giri temporali superiori dorsali, attivate maggiormente dai toni con frequenza modulata che dai rumori. Le aree gialle, che si concentrano nel solco temporale superiore, sono specifiche per il discorso, cioè mostrano un'attivazione maggiore con i suoni verbali (parole, pseudoparole, o parole invertite) che con quelli non-verbali. Infine le aree rosse, che comprendono le regioni del giro temporale medio, del giro temporale inferiore, del giro angolare e del polo temporale, sono più attive con le parole anziché con le pseudoparole o le non-parole. Si noti che queste «aree delle parole» mostrano una forte lateralizzazione a sinistra; tali aree sono state rilevate da un alto numero di studi (Démonet et al., 1992, 1994; Perani et al., 1996; Binder et al., 1999, 2000). Da Binder et al. (2000).

uditiva, nei giri di Heschl, al giro temporale superiore. Come si è già detto, in queste regioni cerebrali non viene operata alcuna distinzione fra suoni verbali e non-verbali. Le prime evidenze di tale distinzione riguardano l'adiacente solco temporale superiore, nel quale però l'informazione non è ancora sottoposta ad alcun processo di elaborazione semantico-lessicale. Dal solco temporale superiore le informazioni arrivano poi al giro temporale medio e al giro temporale inferiore, al cui livello è possibile che vengano elaborati gli aspetti fonologici e semantico-lessicali delle parole. La fase successiva di analisi ha luogo nel giro angolare, posteriormente alle aree temporali appena descritte (si veda il Capitolo 3), ma poi si sposta in regioni più anteriori del polo temporale. Soltanto per queste ultime quattro aree sembra esservi una lateralizzazione maggiore all'emisfero sinistro.

Nel caso dell'input scritto, abbiamo visto che l'analisi percettiva delle lettere ha luogo inizialmente nella corteccia visiva primaria e secondaria di entrambi gli emisferi, aree cerebrali specializzate nell'elaborazione visiva, però non specifica per le lettere. È possibile che le regioni occipito-temporali dell'emisfero sinistro siano specializzate nell'identificazione delle unità ortografiche (si veda la Figura 9.13). Studi sulla lettura, in cui si sono messe a confronto le aree cerebrali attivate durante l'elaborazione di parole o di pseudoparole, hanno anch'essi identificato

nel giro temporale medio una componente dell'elaborazione fonologica. Dato interessante, il giro temporale medio è più attivo nel processo di elaborazione di parole che di pseudoparole; ciò indica che queste aree potrebbero essere implicate negli aspetti più spiccatamente semantici dell'elaborazione linguistica. Infine, quando l'input ortografico deve essere tradotto in informazioni fonologiche usate poi per pronunciare la parola, sembra essere rilevante il giro frontale inferiore sinistro, compresa la parte ventrale dell'area di Broca.

Di solito le parole non sono elaborate in modo isolato, ma nel contesto di altre parole (frasi, racconti, ecc.). Per capire le parole nel loro contesto, dobbiamo integrare le proprietà sintattiche e semantiche della parola riconosciuta, generando una rappresentazione complessiva dell'intero enunciato.

### ■ Ruolo del contesto nel riconoscimento delle parole

Una delle questioni più spinose nel campo della psicolinguistica è identificare in quale momento, durante il processo di comprensione, il contesto interviene a influenzare l'elaborazione dell'input linguistico. Più precisamente, il contesto influenza il processo di elaborazione dell'informazione linguistica prima o dopo che l'accesso lessicale e la selezione lessicale sono stati completati? Questo proble-

ma ha a che fare con la questione della modularità, come forma di organizzazione contrapposta all'interattività (si veda la scheda «Modularismo e interazionismo a confronto»). Consideriamo la seguente frase, che termina con una parola ambigua in quanto ammette più di un significato: *The tall man planted a tree on the bank* (L'uomo alto piantò un albero sulla banca/riva). L'inglese *bank* può significare sia «istituto bancario» sia «riva di un fiume». L'integrazione semantica del significato della parola finale nel contesto della frase ci permette di interpretare *bank* come «riva del fiume», e non come «istituto bancario». La domanda importante, qui, è: in quale momento il contesto della frase influenza l'attivazione dei molteplici significati della parola *bank*? I due significati della parola, sia quello appropriato al contesto (in questo caso «riva del fiume») sia quello non adatto al contesto (in questo caso «istituto bancario»), sono stati attivati entrambi per breve tempo, indipendentemente dal contesto della frase? Oppure il contesto ha immediatamente limitato l'attivazione all'unico significato contestualmente appropriato della parola *bank*? Da questo esempio possiamo già vedere che, nell'elaborare le parole nel contesto creato da altre parole, sono importanti due tipi di rappresentazioni: le rappresentazioni di livello inferiore, quelle basate sull'input sensoriale (nel nostro esempio, la parola *bank* stessa), e le rappresentazioni di livello superiore, quelle basate sul contesto che precede la parola da elaborare (nel nostro esempio, la frase che precede la parola *bank*). Le rappresentazioni contestuali sono cruciali per determinare il senso, o la forma grammaticale, in cui una parola deve essere usata. Ma senza analisi sensoriale non vi può essere alcuna rappresentazione del messaggio. In un qualche momento i due tipi di informazione devono interagire. E il momento in cui questo dovrebbe accadere differisce nei diversi modelli.

Come abbiamo già accennato in precedenza, i modelli per il riconoscimento di parola (*word recognition*) differiscono anche rispetto al grado di interattività che presuppongono. In generale si possono distinguere tre tipi di modelli che cercano di spiegare la comprensione delle parole. I *modelli modulari* (detti anche *modelli autonomi*) sostengono che la normale comprensione del linguaggio dipenda dall'azione di moduli separati e indipendenti. Le rappresentazioni a livello più alto non possono perciò influenzare quelle a livello più basso e il flusso dell'informazione è rigorosamente controllato dai dati, ovvero è *bottom-up*. Nei modelli modulari, i processi di accesso e di selezione lessicali non possono essere influenzati dalla rappresentazione delle informazioni contestuali. Nell'esempio di *bank*, un modello autonomo porterebbe a prevedere l'attivazione di entrambi i significati, «riva del fiume» e «istituto bancario», sebbene il contesto sia «L'uomo alto piantò un albero sulla banca/riva». Solo in seguito all'accesso lessicale, alla selezione della forma della parola e all'attivazione di entrambi i significati, il contesto può avere un ruolo nella selezione del senso appropriato al contesto stesso, nel nostro esempio «riva del fiume».

Secondo i *modelli interattivi*, invece, tutti i tipi di informazioni partecipano al riconoscimento di parola. In questi modelli il contesto può esercitare la propria influenza prima ancora che siano disponibili le informazioni sensoriali, modificando lo stato attivazionale delle rappresentazioni della forma delle parole entro il lessico mentale. McClelland e collaboratori (1989) hanno proposto un modello interattivo di questo tipo. Molti di questi modelli postulano che le rappresentazioni della forma delle parole non siano entità unitarie e discrete: una parola sarebbe riconosciuta quando certi nodi di una rete distribuita vengono a essere attivi contemporaneamente. Nell'esempio di *bank*, questo vorrebbe dire che il contesto della frase può guidare la selezione del significato appropriato al contesto stesso, quindi il significato «istituto bancario» di *bank* non sarebbe attivato.

Fra queste due posizioni estreme si colloca una terza visione, secondo la quale l'accesso lessicale è autonomo e non influenzato dalle informazioni di livello superiore, mentre la selezione lessicale può essere influenzata sia dall'informazione sensoriale sia da quella di livello superiore, contestuale. In questi *modelli ibridi* le informazioni riguardano le forme delle parole che sono possibili dato il contesto che le precede; in questo modo si riduce il numero dei candidati attivati. La versione della teoria di Marslen-Wilson sul riconoscimento uditivo di una parola, di cui abbiamo parlato in precedenza, è un esempio di modello ibrido.

Una ricerca esemplare sulla questione «modularismo e interazionismo a confronto» è lo studio condotto da Pienie Zwitserlood dell'Università di Münster (Germania), mentre lavorava in Olanda al Max Planck Institute for Psycholinguistics (Zwitserlood et al., 1989). Questa ricercatrice ha sottoposto i soggetti all'ascolto di brevi testi, come: «Con profondo dolore gli uomini restarono in silenzio intorno alla tomba. Essi piangevano la perdita del loro capitano». In momenti diversi durante la presentazione uditiva della parola *capitano* (per cui il soggetto ne aveva potuto udire solo segmenti parziali come «c», o «ca», o «cap» ecc.), veniva presentato anche uno stimolo-target visivo. Questo stimolo poteva essere correlato alla parola *capitano* oppure a un competitor uditivo, per esempio *capitale*. Nel caso di questo esempio, le parole-target potevano consistere in vocaboli come *nave* (correlato) oppure *denaro* (non correlato); altre volte poteva trattarsi di una pseudoparola. Il compito del soggetto consisteva nel decidere se lo stimolo-target era una parola oppure no (compito di decisione lessicale). I risultati di questo studio hanno dimostrato che i soggetti erano più veloci a decidere che *nave* era una parola – e più lenti a decidere che lo era *denaro* – quando essa appariva nel contesto della storia sugli uomini addolorati per la morte del loro compagno, anche quando l'informazione sensoriale sulla parola-stimolo *capitano* era ancora parziale (cioè prima che la parola fosse pronunciata per intero). Apparentemente il processo di selezione lessicale era sta-

to influenzato dalle informazioni contestuali, disponibili ai soggetti sulla base del testo udito prima che la parola *capitano* fosse pronunciata per intero. Tuttavia, era necessario che alcune informazioni sensoriali relative alla parola *capitano* fossero udite, altrimenti i benefici nel tempo di reazione non si manifestavano. Questo risultato è in accordo con le teorie secondo cui l'accesso lessicale sarebbe guidato dall'input sensoriale e non dalle sole informazioni contestuali di ordine superiore, mentre – cosa molto importante – la selezione lessicale sarebbe influenzata dal contesto della frase. Ancora non si sa con certezza quale tipo di modello fornisca la spiegazione migliore del processo di comprensione di parola, ma un numero crescente di prove, emergenti da studi come quello della Zwitserlood e di altri ricercatori, indica che almeno la selezione lessicale è influenzata dalle informazioni contestuali di livello superiore.

### Integrazione delle parole in frasi

Nei paragrafi precedenti abbiamo esaminato i processi coinvolti nel riconoscimento di una parola entro l'input linguistico. Ma la normale comprensione del linguaggio richiede di più del semplice riconoscimento delle singole parole. Per capire il messaggio trasmesso da un parlante o da uno scrivente, le proprietà sintattiche e semantiche della parola riconosciuta devono essere integrate in una rappresentazione dell'intero periodo o dell'intero enunciato. Consideriamo di nuovo la frase seguente: «L'uomo alto piantò un albero sulla banca/riva [*bank*]». Perché leggiamo *bank* conferendo alla parola il significato di «riva del fiume», anziché «istituto bancario»? Lo facciamo perché il resto del periodo ha generato un contesto compatibile con uno dei due significati, e non con l'altro. Consideriamo un altro esempio: *The pianist rose to the applause of the audience* (Il pianista si alzò [*rose*] all'applauso del pubblico). Ancora una volta, la frase si presta a più interpretazioni ma, tramite i processi di integrazione, *rose* viene interpretato da un ascoltatore anglofono come verbo (passato di *to rise*, «alzarsi in piedi») e non come nome («un fiore, la rosa»). Questo processo di integrazione deve essere eseguito in tempo reale, durante l'esposizione all'input linguistico. Così, se in una frase si incontra una parola come *bank*, in genere non ci si rende conto del fatto che essa ha un significato alternativo, poiché il significato appropriato è stato rapidamente integrato nel contesto.

Comprendere una parola nell'ambito della rappresentazione d'ordine superiore del significato della frase implica l'intervento di processi di integrazione semantica e sintattica. L'elaborazione semantica è importante per determinare il corretto senso o significato delle parole nel contesto di una frase, come accade con le parole ambigue (per esempio, *bank*) che hanno un'unica forma per più significati. Ma l'analisi semantica è necessaria per estrarre il significato anche di parole non ambigue, come *pia-*

*noforte*, il cui senso non varia in contesti diversi (per esempio, «il pianoforte è uno strumento pesante» oppure «il pianoforte è un bello strumento»).

Ma per giungere a un'interpretazione completa dell'input linguistico, occorre assegnare all'input anche una struttura grammaticale. L'informazione semantica veicolata dalle sole parole non è sufficiente per comprendere il messaggio, come appare chiaro dalla seguente frase: *The little old lady bites the gigantic dog* (La piccola, vecchia signora morde il gigantesco cane). L'analisi sintattica ci rivela la struttura della frase: chi era l'agente, qual era il tema o l'azione, e qual era l'oggetto? La sintassi del periodo ci impone di immaginare una situazione non plausibile, inverosimile, in cui una vecchia signora non viene morsa, ma è lei stessa a mordere un cane.

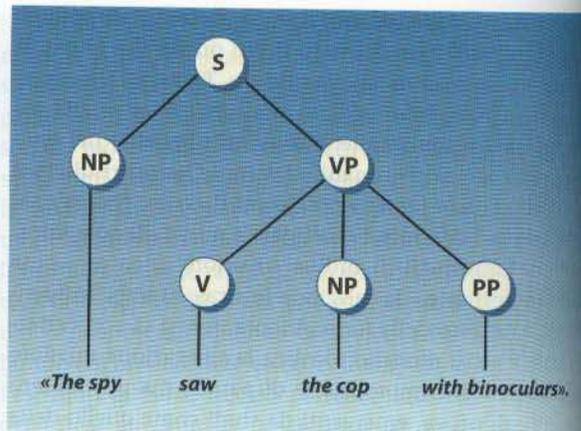
L'analisi sintattica continua ad aver luogo anche in assenza di un significato plausibile. I soggetti normali sono più veloci a rilevare una parola-target in un periodo quando questo non ha significato ma è grammaticalmente corretto, anziché quando la grammatica non è rispettata. Tipicamente, in questi studi si richiede ai soggetti di ascoltare in condizioni sperimentali differenti degli enunciati e di premere un pulsante non appena sentono una certa parola-bersaglio, per esempio *cucina*. Nella condizione considerata di base, si presentano ai soggetti enunciati normali. Un esempio di enunciato normale potrebbe essere: «la domestica stava accuratamente sbucciando le patate in giardino, perché durante l'estate la cucina era così calda che lavorare all'interno era insopportabile». In questa condizione di base, i soggetti impiegano circa 300 ms per premere il pulsante (dall'insorgenza della parola-bersaglio *cucina*). Questi tempi di reazione possono essere confrontati con quelli prodotti in risposta a periodi senza senso dal punto di vista semantico ma corretti sotto il profilo grammaticale, come: «Un sogno arancione stava rumorosamente guardando la casa durante le fetide notti, perché all'interno di questi segni una cucina molto lenta russava con foglie fragorose». In questi casi la risposta media dei soggetti alla parola-target è ritardata di circa 60 ms. Ma quando anche la sintassi del periodo è sconvolta, i tempi di risposta sono ancora più lenti (aumentano di altri 45 ms). Un enunciato di questo tipo può essere il seguente: «Un sogno arancione stava rumorosamente guardando la casa durante le fetide notti, perché all'interno di questi segni una lenta molto cucina russava con foglie fragorose». L'ordine delle parole nella frase *una lenta molto cucina* è sbagliato dal punto di vista grammaticale [l'errore è meglio avvertibile nell'inglese *slow very kitchen*]. Questo genere di risultati dimostra che l'analisi sintattica continua a essere effettuata anche quando le frasi sono prive di significato.

Secondo i principi della psicolinguistica, come avviene l'elaborazione della struttura del periodo? Quando udiamo o leggiamo una frase, attiviamo le forme delle parole (lessemi) che a loro volta attivano l'informazione dei lemmi. Come abbiamo detto in precedenza, si ipotiz-

za che il lemma contenga non soltanto l'informazione sulle proprietà sintattiche di una parola (per esempio, se si tratta di un sostantivo o di un verbo), ma anche l'informazione sulle strutture sintattiche che possono essere generate, dato un certo verbo. Per esempio, un verbo come *mangiare* richiede un soggetto e un complemento oggetto, come nella frase «Il gatto (il soggetto che compie l'azione) *mangia* il cibo (l'oggetto che viene mangiato)». Non appena viene recuperato il lemma appropriato, la costruzione della struttura può avere inizio. Ciò vuol dire che alle parole vengono assegnati i loro ruoli sintattici ed esse sono poi raggruppate in frasi sintattiche. Per esempio, «Il gatto mangia il cibo» consiste di una locuzione nominale (*il gatto*), un verbo (*mangia*) e un'altra locuzione nominale (*il cibo*). Questo processo è incrementale: non appena l'informazione relativa a un lemma viene recuperata, essa è inserita nella frase che si va costruendo. L'immediata assegnazione della struttura sintattica alle parole in entrata è detta **analisi grammaticale** (*parsing*) e il processore che la esegue è detto *analizzatore sintattico* (o *parser*). A differenza della rappresentazione delle parole e delle loro proprietà sintattiche (lessemi e lemmi), che sono immagazzinate nel nostro lessico mentale, le rappresentazioni delle frasi intere non sono immagazzinate nel cervello. Non è infatti materialmente possibile che il nostro cervello immagazzini l'incredibile numero di frasi che possono essere scritte e pronunciate. L'analisi grammaticale, quindi, è un processo di costruzione che non si fonda, e oggettivamente non può farlo, sul recupero di rappresentazioni delle frasi.

Come funziona il processo dell'analisi sintattica? Una teoria che ha esercitato grande influenza è il cosiddetto *modello del garden-path* (pista ingannevole), proposto da Lynn Frazier (1987). Il presupposto essenziale di questo modello è che le frasi abbiano un'interpretazione preferenziale. Tale preferenza può però condurre a effetti ingannevoli, cioè si può essere indotti a prendere per buono qualcosa che a prima vista sembra corretto, ma che in realtà non lo è. Per capire questo modello, dobbiamo prima di tutto introdurre il concetto di struttura del periodo.

Un periodo consiste in una composizione lineare di parole e di frasi, composizione che può essere rappresentata da una struttura gerarchica ad albero, la quale riflette la struttura del periodo stesso. Un esempio di struttura ad albero relativa al periodo *The spy saw the cop with binoculars* (La spia vide il poliziotto con il binocolo) è presentato nella Figura 9.16. Come si può vedere nella figura, il periodo è suddiviso in due funzioni fondamentali, una nominale e l'altra verbale. La locuzione nominale è composta da un articolo (*the*) e da un nome, o sostantivo (*spy*, spia). La locuzione verbale comprende il verbo principale (*saw*, vide); una funzione nominale (*the cop*, il poliziotto), composta da un articolo (*the*) e da un nome (*cop*), e una locuzione prepositiva (*with binoculars*, con il binocolo), composta da una preposizione (*con*) e da un

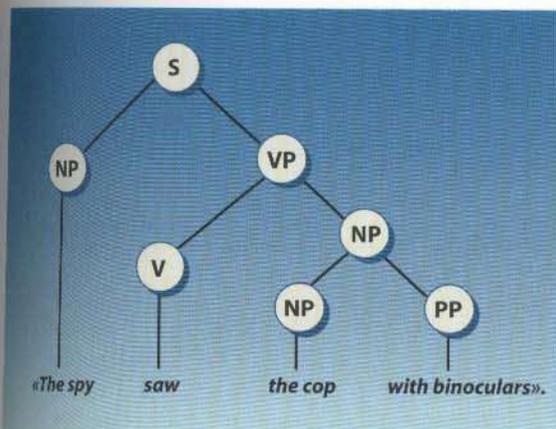


**9.16** Struttura di un periodo. Come è spiegato nel testo, questa struttura si basa sul principio del *minimal attachment* (collegamento minimo).

nome (*binoculars*, binocolo). Le rappresentazioni mentali delle componenti dell'albero prendono il nome di *nodi sintattici*.

La formazione delle strutture che costituiscono la frase ha un ruolo centrale nel modello del *garden-path* (ma anche in altri modelli dell'analisi grammaticale). Il modello del *garden-path* suppone che le informazioni sintattiche vengano elaborate in modo da ridurre al minimo le operazioni necessarie, per far fronte all'enorme pressione temporale imposta dai normali processi di comprensione. Il modello postula due meccanismi che potrebbero favorire questo principio di economia: il principio del *minimal attachment* (*minimo collegamento*) e quello della *late closure* (*chiusura ritardata*). Il meccanismo del *minimal attachment* garantisce che l'analisi sintattica sia condotta in modo da minimizzare il numero dei nodi sintattici da computare. Il meccanismo della *late closure* cerca di assegnare le parole in entrata alla frase o alla proposizione sintattica che in quel momento è in fase di elaborazione.

Consideriamo ora un'altra versione del periodo rappresentato nella struttura ad albero della Figura 9.16. Nella Figura 9.17 il significato dello stesso periodo cambia, in seguito al fatto che gli viene attribuita una struttura sintattica diversa. Questo secondo albero porta a interpretare il periodo come se volesse dire che è il poliziotto, e non la spia, a essere fornito di binocolo. La ragione per cui l'interpretazione della Figura 9.16 viene preferita a quella della Figura 9.17 è perché il primo albero implica meno nodi e di minore complessità. I principi del minimo collegamento e della chiusura ritardata sono stati proposti per motivi di economia. Poiché il processore del linguaggio deve funzionare sotto una pressione temporale fortissima, minore è il tempo richiesto dall'analisi sintattica e meglio è. A volte il principio del *minimal attachment* porta a commettere errori, come nella frase: *Ron loves Holland and his mother enjoyed her trip to Amsterdam* (Ron ama l'Olanda e sua madre ha gradito il proprio



**9.17** Struttura dello stesso periodo della Figura 9.16. In questa figura la struttura gerarchica ad albero illustra un caso di *nonminimal attachment*. Si veda il testo per ulteriori spiegazioni.

viaggio ad Amsterdam). Questa è una frase da percorso ingannevole, la cui interpretazione privilegiata porta a imboccare la via di una soluzione errata [Ron ama l'Olanda e sua madre], e ciò rende poi necessaria una nuova analisi.

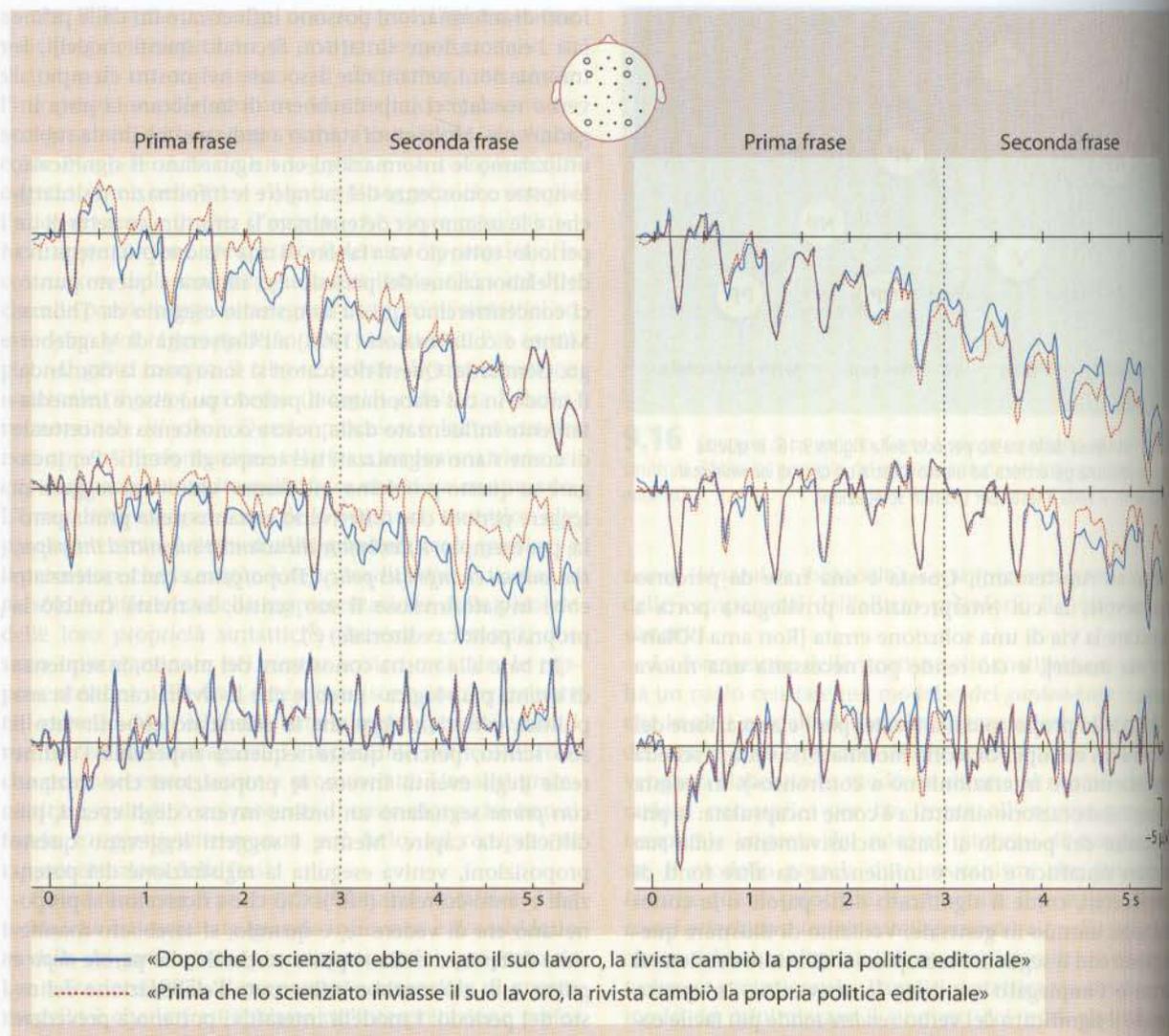
Il modello proposto dalla Frazier per l'elaborazione dei periodi è un esempio di teoria modulare (si veda la scheda «Modularismo e interazionismo a confronto»). In questa visione l'elaborazione sintattica è come incapsulata: la prima analisi del periodo si basa esclusivamente sulla sua struttura sintattica e non è influenzata da altre fonti di informazioni, come il significato delle parole o la conoscenza del mondo in generale. Vediamo di illustrare questo punto con il seguente esempio: «Il direttore vendette il divano e l'impiegato vendette la scrivania». In questo esempio il significato del verbo *vendere* rende più facile costruire una struttura sintattica in cui il sostantivo *l'impiegato* segna l'inizio di una seconda proposizione, dal momento che in genere gli impiegati non vengono venduti dai loro direttori. In termini linguistici, è molto più facile che *venduto* si riferisca a un oggetto inanimato (per esempio, *divano*), piuttosto che a uno animato (per esempio, *impiegato*). Tuttavia il modello modulare della Frazier postula che, indipendentemente da queste informazioni contestuali, per prima cosa venga assegnata al periodo una struttura, unicamente in base alla sintassi e ai principi del *minimal attachment* e della *late closure*. Quindi anche in quest'esempio, come in quello precedente, saremmo indotti a imboccare un percorso ingannevole (un *garden-path*) e a strutturare inizialmente il periodo come se il direttore avesse venduto il divano e l'impiegato. Soltanto in una fase successiva, dopo che le informazioni semantiche sono state valutate da un cosiddetto «interprete semantico», possiamo rivedere la struttura del periodo in modo che rifletta il suo vero significato.

Ma esistono anche visioni più interattive dei processi di elaborazione del periodo, teorie secondo le quali altre

fonti di informazioni possono influenzare fin dalle prime fasi l'elaborazione sintattica. Secondo questi modelli, le informazioni semantiche associate nel nostro esempio al verbo *venduto* ci impedirebbero di imboccare la pista ingannevole. Molti studi stanno a indicare che fin da subito utilizziamo le informazioni che riguardano il significato, le nostre conoscenze del mondo e le informazioni sintattiche, e le usiamo per determinare la struttura corretta di un periodo; tutto ciò va a favore di una visione più interattiva dell'elaborazione del periodo. Per illustrare questo punto, ci concentreremo qui su uno studio eseguito da Thomas Münte e collaboratori (1998) all'Università di Magdeburgo, Germania. Questi ricercatori si sono posti la domanda: il modo in cui elaboriamo il periodo può essere immediatamente influenzato dalla nostra conoscenza concettuale di come siano organizzati nel tempo gli eventi? Per indagare su questo problema, essi hanno chiesto ai soggetti di leggere periodi che differivano soltanto nella prima parola, per esempio: *After/before the scientist submitted the paper, the journal changed its policy* (Dopo/prima che lo scienziato ebbe inviato/inviase il suo scritto, la rivista cambiò la propria politica editoriale) <sup>(2)</sup>.

In base alla nostra conoscenza del mondo, la sequenza di eventi più «logica» sarebbe che la rivista cambiò la sua politica editoriale *dopo* che lo scienziato ebbe inviato il suo scritto, perché questa sequenza rispecchia l'ordine reale degli eventi. Invece, le proposizioni che iniziano con *prima* segnalano un ordine inverso degli eventi, più difficile da capire. Mentre i soggetti leggevano queste proposizioni, veniva eseguita la registrazione dei potenziali evento-correlati (ERP). Ciò che i ricercatori si proponevano era di vedere se, e quando, si sarebbero manifestate differenze nella risposta cerebrale alle parole *dopo* e *prima*, e se ciò avrebbe influenzato l'elaborazione del resto del periodo. I modelli interattivi portano a prevedere che la conoscenza concettuale dell'ordine degli eventi può influenzare immediatamente l'elaborazione del periodo, mentre secondo i modelli modulari tale influenza si verificherebbe solo in una fase successiva. I risultati ottenuti da questa ricerca si accordano maggiormente alle previsioni del modello interattivo. Come si può vedere dalla Figura 9.18, gli ERP prodotti in risposta alla parola *prima* sono, fin dall'inizio, più negativi di quanto non siano quelli in risposta alla parola *dopo*, e tale effetto si mantiene per tutta la proposizione. Questi risultati indicano che la conoscenza concettuale dell'ordine temporale degli eventi può effettivamente influenzare l'elaborazione delle proposizioni a partire quasi da subito, e che ciò ha conseguenze durevoli sull'elaborazione del resto del periodo.

<sup>(2)</sup> In inglese i due avverbi di tempo non comportano una diversa forma grammaticale del verbo, come invece accade nell'italiano. Ciò va tenuto presente nel leggere l'interpretazione dei risultati sperimentali [N.d.T.].



**9.18** Potenziali evocati (ERP) in risposta a frasi che iniziavano con le parole *prima* (linea tratteggiata) oppure *dopo* (linea continua).

Gli ERP sono stati registrati sul cuoio capelluto da un sito prefrontale (in alto), uno frontale e uno occipitale (in basso) dell'emisfero sinistro (parte sinistra) e destro (parte destra). Nel sito prefrontale sinistro le forme d'onda evocate da *prima* e *dopo* incominciano a divergere quasi immediatamente (a 300 ms). Nei siti prefrontali e frontali questo effetto dura per tutto il periodo ed è maggiore durante la seconda frase. Si veda il testo per ulteriori spiegazioni. Da Münte et al. (1998).

### ■ Substrati neurali dell'elaborazione sintattica

Che cosa si sa dei circuiti cerebrali coinvolti nell'elaborazione sintattica? Per cercare di rispondere a questa domanda, cominceremo col considerare sia le prove raccolte su pazienti con lesioni cerebrali sia le prove ottenute con le tecniche di *brain imaging*. Alcuni pazienti cerebrolesi hanno gravi difficoltà a produrre o a comprendere la struttura dei periodi. Questi deficit sono particolarmente evidenti nei pazienti afasici affetti da **agrammatismo**, i quali tendono a produrre proposizioni di due o tre parole, che consistono quasi esclusivamente di sostantivi e molto raramente di connettori funzionali (come *e*, *quindi*, *il/la*, *un/una*, ecc.) o morfemi grammaticali e for-

me verbali coniugate (come *stava spingendo*). Un esempio di questo eloquio impoverito potrebbe essere una frase del tipo: «Figlio... università», anziché «Mio figlio è all'università».

Per quanto riguarda la comprensione del linguaggio, i pazienti agrammatici hanno spesso grandi difficoltà a capire le strutture sintattiche complesse. Così, nell'udire la frase «il gigantesco cane venne morso dalla piccola anziana signora», molto probabilmente la interpreterebbero come se volesse dire che la vecchietta fu morsa dal gigantesco molosso. Questo problema nell'assegnare ai periodi la loro struttura sintattica è stato tradizionalmente associato con lesioni che comprendono l'area di Broca nell'emisfero sinistro, una regione che descriveremo dettagliatamente



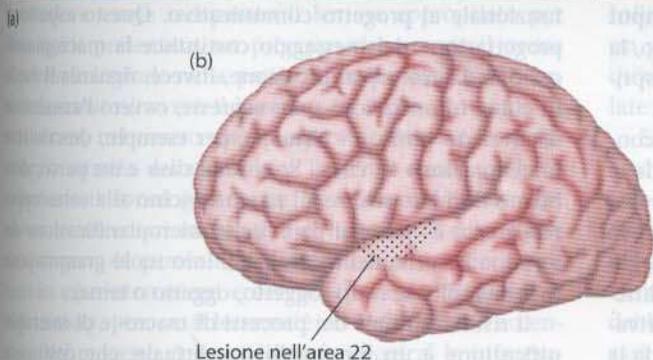
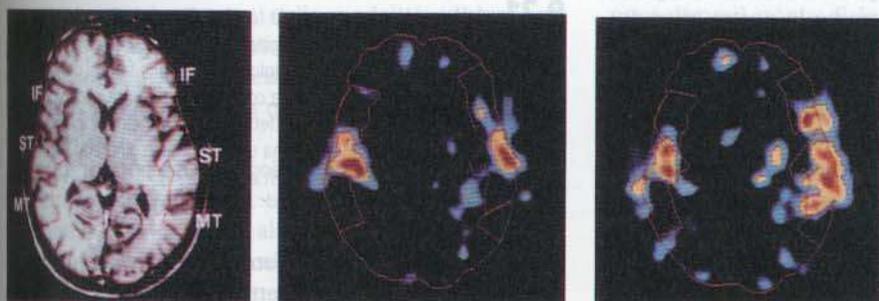
**9.19** Aumento del flusso sanguigno nell'area di Broca mentre i soggetti sono impegnati a elaborare strutture sintatticamente complesse, rispetto a quando elaborano strutture semplici. Si veda il testo per ulteriori spiegazioni. Adattata da Caplan et al. (2000).

tamente più avanti (si faccia riferimento alla Figura 9.24). Tuttavia si è osservata una notevole variabilità, e alcuni pazienti agrammatici non hanno lesioni nell'area di Broca, quale essa è tradizionalmente definita.

Altre prove che l'area di Broca può essere importante per l'elaborazione delle informazioni sintattiche sono venute da studi PET, eseguiti da David Caplan e collaboratori (2000) alla Harvard Medical School. In questi studi si sottoponevano a scansioni PET i soggetti mentre erano impegnati a leggere periodi di complessità sintattica differente. Per esempio, periodi con struttura sintattica relativamente semplice, come «Il bambino gradì la spremuta che macchiò il tappeto», sono stati messi a confronto con periodi dotati di struttura sintattica più complessa, come «La spremuta che era stata gradita dal bambino macchiò il tappeto». Il secondo periodo è più complesso, perché la frase principale (*la spremuta macchiò il tappeto*) è

interrotta da una *proposizione relativa* (*che era stata gradita dal bambino*). Di conseguenza il ruolo tematico (soggetto? oggetto?) del primo sostantivo (*la spremuta*) non può essere assegnato finché non s'incontra il verbo che viene dopo la proposizione relativa (*macchiò*). La prima frase nominale (*la spremuta*) deve essere mantenuta in una sorta di *buffer* della memoria di lavoro. Invece il primo tipo di proposizione non impone alla memoria di lavoro un carico così oneroso, poiché in quel caso l'assegnazione dei ruoli tematici è quasi immediata. Caplan e collaboratori hanno trovato che, con le strutture sintattiche più complesse, nell'area di Broca si manifestava un aumento dell'attivazione (Figura 9.19).

Ma sono stati sollevati dubbi circa la specificità dell'area di Broca per i processi di comprensione sintattica. In altri studi, manipolando la complessità del periodo si è trovata attivazione anche in altre aree cerebrali, oltre a



**9.20** (a) Quadri di attivazione PET nella porzione anteriore del giro temporale superiore, in relazione all'elaborazione sintattica. IF = frontale inferiore; ST = temporale superiore; MT = temporale medio. (b) Le lesioni nella corteccia temporale superiore anteriore che portano a deficit dell'elaborazione sintattica. (a) Adattata da Mazoyer et al. (1993).

quella di Broca. Marcel Just e collaboratori (1996) hanno rilevato attivazione sia nell'area di Broca che in quella di Wernicke (corteccia frontale laterale e temporale postero-superiore, rispettivamente – si veda più avanti) e anche nelle aree omologhe dell'emisfero destro. Inoltre, l'attivazione nell'area di Broca è stata osservata in studi sulla produzione linguistica e in studi che non riguardavano affatto l'elaborazione sintattica del periodo ma, per esempio, la memorizzazione, il mantenimento e il recupero di liste di item. In generale, quindi, la questione se l'area di Broca sia specifica per il processo di elaborazione sintattica è ancora oggetto di dibattito. Secondo alcuni studiosi, quest'area avrebbe un ruolo più generale in operazioni della memoria di lavoro non specifiche per l'elaborazione sintattica.

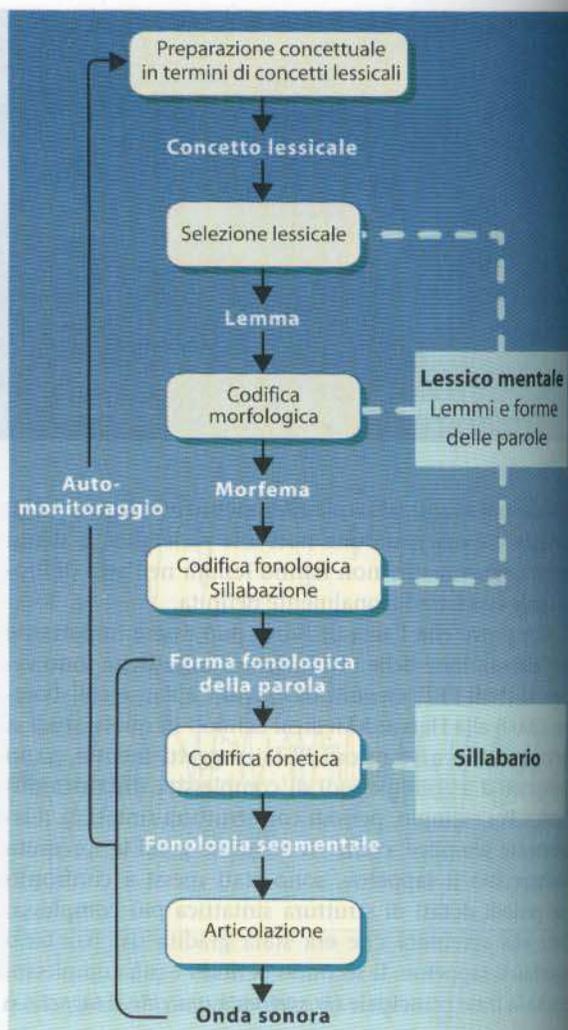
Un'altra regione cerebrale candidata a essere coinvolta nell'elaborazione sintattica è stata individuata dalla PET nelle porzioni anteriori del GTS, in prossimità dell'area 22 (Figura 9.20a). Nina Dronkers della University of California, a Davis, e collaboratori (1994) hanno proposto che quest'area sia implicata anche nei deficit di elaborazione sintattica degli afasici (Figura 9.20b). Poiché l'analisi grammaticale è un processo di notevole complessità, non sarebbe affatto sorprendente che fosse sostenuto da più di un'area cerebrale. Le future ricerche dovranno chiarire sempre meglio i vari aspetti di questo processo analitico e le aree cerebrali da cui tali aspetti sono sostenuti ma, avvalendosi di un'ampia gamma di metodi, gli scienziati stanno già restringendo il campo in cui cercare le risposte.

## Produzione del linguaggio

Fin qui ci siamo occupati principalmente della comprensione del linguaggio, ora rivolgeremo la nostra attenzione ai processi della produzione linguistica. Per fornire un quadro generale su cui organizzare la trattazione, ci concentreremo su un importante modello teorico della produzione linguistica, proposto da Willem Levelt (1989) del centro olandese Max Planck Institute for Psycholinguistics. Il modello è illustrato nella Figura 9.21.

Il nostro punto di partenza sarà una differenza apparentemente di poco conto, in realtà molto importante, tra comprensione e produzione linguistica. Mentre la comprensione del linguaggio incomincia con un input orale o scritto che deve essere trasformato in concetto, la produzione linguistica ha inizio da un concetto per esprimere il quale dobbiamo trovare le parole appropriate.

Il primo passaggio nella produzione del discorso consiste nella preparazione del messaggio. Levelt sostiene che tale processo consista di due aspetti cruciali: la *macroplanificazione* e la *micropianificazione*. Il parlante deve stabilire che cosa desidera esprimere nel suo messaggio all'ascoltatore. La formulazione del messaggio sarà differente quando diamo a qualcuno le indicazioni per arrivare a casa nostra, e quando invece vogliamo che chiuda la



**9.21** Schema che rappresenta la teoria sulla produzione linguistica proposta da Willem Levelt; sono riportate le principali componenti di processo. La produzione del linguaggio prevede varie fasi: la preparazione concettuale, la selezione lessicale, la codifica morfologica e fonologica e infine l'articolazione. Il parlante effettua un costante monitoraggio del proprio discorso tramite il sistema deputato alla comprensione. Adattata da Levelt (1999) e da Levelt et al. (1999).

porta. Questa intenzione comunicativa viene pianificata tramite obiettivi e sottobiettivo espressi nell'ordine più funzionale al progetto comunicativo. Questo aspetto di progettazione del messaggio costituisce la *macroplanificazione*. La *micropianificazione*, invece, riguarda il modo in cui le informazioni sono espresse, ovvero l'assunzione di un certo punto di vista. Se, per esempio, descriviamo una situazione in cui ci sono una casa e un parco, dobbiamo decidere se dire «il parco è vicino alla casa» oppure «la casa è vicina al parco». La *micropianificazione* determina la scelta delle parole e il loro ruolo grammaticale (per esempio, se sono soggetto, oggetto o tema).

Il risultato finale dei processi di macro- e di micropianificazione è un messaggio concettuale, che costituisce

l'input per un ipotetico dispositivo, il *formulatore* (*formulator*), che traspone il messaggio nella forma corretta dal punto di vista grammaticale e fonologico. Durante la codifica grammaticale, viene computata la struttura superficiale di un messaggio, cioè la sua rappresentazione sintattica (ma non quella concettuale), che comprende informazioni come «è il soggetto di», «è l'oggetto di», l'ordine grammaticalmente corretto delle parole e così via. Gli elementi di primo, più basso, livello della struttura superficiale sono i lemmi. Questi sono immagazzinati nel lessico mentale e, come si è detto in precedenza, contengono le informazioni riguardanti le proprietà sintattiche di una parola (per esempio, se si tratta di un nome o di un verbo, l'informazione relativa al genere e le altre caratteristiche grammaticali) e le sue specificazioni semantiche, e/o le condizioni concettuali in cui è opportuno usare quella determinata parola. Nel lessico mentale i lemmi sono organizzati in una rete che li collega sulla base del loro significato, come forse ricorderete da quanto si è detto all'inizio di questo capitolo ed è illustrato nella Figura 9.1, che rappresenta un frammento di rete lessicale.

Immaginate di presentare a un soggetto l'immagine di una pecora e di imporgli il compito di denominare l'oggetto nell'immagine. Secondo il modello di Levelt, ecco che cosa accadrà. In primo luogo viene attivato il concetto che rappresenta *pecora*, ma al tempo stesso vengono attivati anche concetti a esso collegati, come *capra*, *lana*, *latte*. Le prove a sostegno di quest'ipotesi, secondo cui l'immagine che rappresenta una parola come *pecora* attiva anche concetti a essa correlati, sono venute dal paradigma dell'interferenza immagine-parola, un disegno sperimentale in cui si chiede ai soggetti di dire, con la maggiore velocità e accuratezza possibile, il nome di immagini che vengono loro presentate. Poco dopo l'immagine si presenta al soggetto, nella modalità uditiva, una parola che dà luogo a interferenza. Il tempo di latenza nel dire il nome *pecora* aumenta quando lo stimolo interferente è la parola *capra*, ma non quando è, per esempio, la parola *casa*.

I concetti attivati a loro volta attivano altre rappresentazioni nel lessico mentale, a partire dai nodi al livello dei lemmi, per poi accedere alle informazioni sintattiche, come la categoria grammaticale a cui la parola appartiene (*pecora*, per esempio, è un nome non un verbo). A questo punto deve essere recuperato il lemma appropriato per l'immagine presentata, un processo che prende il nome di *selezione lessicale* nella produzione linguistica. Il lemma selezionato (ovvero il lemma con il più alto grado di attivazione, nel nostro esempio *pecora*) attiva il lessema, o forma astratta della parola. Il lessema contiene sia le informazioni fonologiche che le *informazioni metriche*, ovvero le informazioni relative al numero di sillabe che compongono la parola e al pattern con cui sono distribuiti in essa intonazioni e accenti (nel caso del termine inglese *sheep*, pecora, il lessema è un monosillabo accentato). Nel processo della codifica fonologica, le informa-

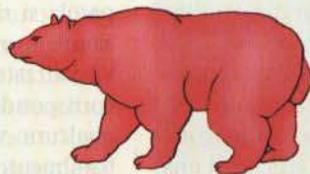
zioni fonologiche sono mappate sulle informazioni metriche. A volte non siamo in grado di attivare la forma sonora di una parola, un fenomeno noto come «avere una parola sulla punta della lingua» (o TOT, da *tip of the tongue*). Quasi certamente avete avuto esperienza della condizione di TOT: conoscete benissimo l'oggetto a cui la parola si riferisce, siete in grado di dire che ha quattro zampe e un vello bianco e ricciuto, nella vostra mente ne visualizzate l'immagine, rifiutate altre parole che non corrispondono al concetto (per esempio, *capra*) poi, se qualcuno vi suggerisce la prima lettera della parola, probabilmente esclamate: «Ma certo... pecora».

Oltre al blocco mentale delle parole, possono verificarsi errori anche nella fase di transizione dal livello di lemma a quello di lessema. A volte mischiamo i suoni oppure scambiamo le parole in una frase. Ma se tutto va bene, viene selezionato il lessema appropriato e vengono coordinati tra loro i programmi fonetici e articolatori opportuni. Nell'ultimo stadio della produzione della frase, viene pianificata l'articolazione. Le sillabe delle parole sono mappate su specifici schemi motori che fanno muovere la lingua, la bocca e l'apparato vocale in modo tale da generare la parola. In questa fase abbiamo la possibilità di correggere qualunque errore sia intervenuto nella preparazione del discorso, per esempio facendo «Hum... hum...» e guadagnando tempo per generare il termine appropriato. Gli errori di produzione possono verificarsi nell'ambito del discorso normale, ma anche i danni cerebrali possono influenzare ogni fase del processo di elaborazione. Alcuni pazienti anomici (deficit di denominazione) sono afflitti da una condizione estrema di TOT. Quando si chiede loro di dire il nome di un'immagine, spesso sono in grado di fornire una descrizione piuttosto precisa dell'oggetto in essa visibile, e tuttavia non riescono a dirne il nome. Il loro problema non ha a che fare con l'articolazione, dato che non hanno alcuna difficoltà a ripetere la parola ad alta voce; il loro problema è piuttosto al livello dei lessemi. I pazienti con afasia di Wernicke producono *parafasie semantiche*, cioè parole correlate nel significato alla parola che dovrebbero pronunciare. Questo problema può implicare un'adeguata selezione dei concetti, o dei lemmi, o dei lessemi. I pazienti con afasia di Wernicke possono commettere errori anche al livello dei fonemi, sostituendo un suono con un altro, scorretto. Infine, l'afasia di Broca si accompagna spesso a disartria, un problema nell'articolare le parole che porta a un eloquio faticoso, data l'impossibilità del paziente di controllare i muscoli che servono ad articolare l'enunciato.

Sembra quindi che i diversi livelli proposti dal modello di Levelt per il processo di produzione del linguaggio siano corretti; nella letteratura vi è generale accordo sul fatto che in questo processo si debbano distinguere un livello concettuale, uno sintattico e uno fonologico. Non c'è accordo, invece, sull'idea che la selezione del lemma debba precedere la codifica fonologica. Ciò significa che sarà attivata *soltanto* la forma della parola che corrispon-

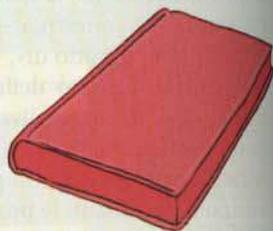
**9.22** Alcuni degli stimoli usati in uno studio olandese sulla produzione verbale, basato sulla registrazione degli ERP. Sotto ogni immagine è scritto il termine olandese per l'oggetto rappresentato e l'aggettivo rosso accordato col genere del sostantivo: comune (*rode*) oppure neutro (*rood*). Ai soggetti fu chiesto di rispondere soltanto quando la parola per indicare l'oggetto nell'immagine incominciava per /b/ («prove go») e di non rispondere quando iniziava per /s/ («prove no-go»). Nelle «prove go», inoltre, i soggetti dovevano rispondere con la mano sinistra quando la parola era di genere comune e con la destra quando era neutra. In tutte le prove i soggetti dovevano dire il nome dell'oggetto. Per ulteriori spiegazioni si veda il testo. Adattata da van Turenhout et al. (1999).

**Prove go**  
Parole che iniziano per /b/



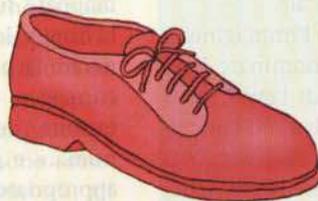
/rode beer/  
(orso rosso)

**Mano destra**  
genere neutro

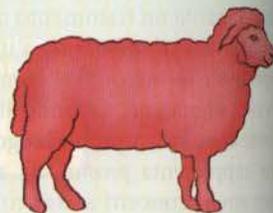


/rood boek/  
(libro rosso)

**Prove no-go**  
Parole che iniziano per /s/



/rode schoen/  
(scarpa rossa)



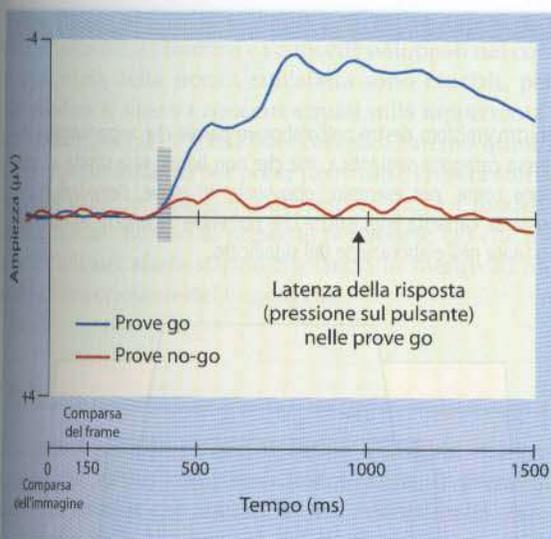
/rood schaaap/  
(pecora rossa)

de al lemma selezionato. Quindi, secondo questa teoria, l'informazione fonologica non può influenzare la selezione del lemma.

In contrapposizione a questa visione modulare, i modelli interattivi come quello proposto da Gary Dell (1986) della University of Illinois suggeriscono che l'attivazione fonologica incominci subito dopo che sono state attivate le informazioni semantiche e sintattiche relative alle parole, e che di fatto si sovrappone nel tempo. Un'altra importante differenza fra i modelli modulari e quelli interattivi in merito alla produzione linguistica è data dal fatto che i modelli interattivi prevedono circuiti a feedback dall'attivazione fonologica alle proprietà semantiche e sintattiche della parola, con conseguente aumento dell'attivazione di certe proprietà sintattiche e semantiche.

Miranda van Turenhout e collaboratori (1999) al Max Planck Institute for Psycholinguistics, in Olanda, hanno cercato di verificare se davvero la selezione del lemma precede l'attivazione del lessema appropriato (come prevede il modello di Levelt), o se invece l'informazione fonologica possa agire retroattivamente e modificare i livelli di attivazione nei nodi dei lemmi (come prevede il mo-

dello di Dell). Questa équipe di ricerca ha presentato ai soggetti immagini di animali e di oggetti i cui nomi iniziavano per «s» oppure per «b»; per esempio, immagine di una pecora (*sheep*), un orso (*bear*), una scarpa (*shoe*) e un libro (*book*). Lo studio è stato condotto nella lingua olandese, nella quale il lemma rappresenta, oltre alla categoria, anche il genere sintattico di una parola, che può essere comune oppure neutro. Nella lingua olandese il genere sintattico determina l'articolo da usare (quindi nel passaggio dall'inglese all'olandese l'articolo *the* ha due traduzioni: *de*, per i sostantivi di genere comune, e *het* per il neutro); inoltre gli aggettivi che precedono il nome concordano con esso nel genere. Per quanto riguarda il nostro esempio, le parole olandesi per *pecora* e *libro* sono di genere neutro, mentre *orso* e *scarpa* sono di genere comune. In un compito (Figura 9.22) si richiese ai soggetti di premere un pulsante *soltanto* quando l'immagine rappresentava una parola che incominciava per «b». I soggetti dovevano, inoltre, rispondere con la mano sinistra quando l'immagine rappresentava una parola che iniziava per «b» ed era di genere comune, mentre dovevano usare la destra quando la parola iniziava per «b» ed



**9.23** Le risposte alle «prove go» (tracciato blu) e alle «prove no-go» (tracciato rosso) in termini di *potenziale di preparazione lateralizzato* o *LRP* (da *lateralized readiness potential*). L'area ombreggiata indica l'intervallo di tempo in cui il cervello produce la stessa risposta sia nelle «prove no-go» sia nelle «prove go». Questo periodo rappresenta la preparazione della risposta nelle «prove no-go», a cui poi non segue una risposta visibile. Per ulteriori spiegazioni si veda il testo. Da van Turennout et al. (1999).

era di genere neutro. In questo disegno sperimentale, la decisione se rispondere o meno era basata sulle informazioni fonologiche al livello del lessema («s» o «b»), mentre la scelta della mano con cui rispondere si basava sulle informazioni relative al lemma (genere sintattico).

In questo studio i ricercatori hanno utilizzato una componente dell'ERP sensibile alla preparazione della risposta, il cosiddetto *potenziale di preparazione lateralizzato* o *LRP* (da *lateralized readiness potential*). L'LRP è un'onda cerebrale, registrata a livello del cuoio capelluto sopra la corteccia motoria, che incomincia a comparire quando una persona progetta un movimento, quindi prima che il movimento sia effettivamente compiuto. Questo potenziale è una misura sensibile dell'attivazione motoria, perché, anche se alla fine il pulsante non viene premuto, l'LRP segnala che una risposta era comunque in fase di preparazione (è un po' come spiare l'intenzione momentanea del soggetto). Ciò che la van Turennout e i suoi collaboratori hanno trovato è che l'LRP corretto incominciava a svilupparsi anche quando i soggetti non avrebbero dovuto rispondere, cioè quando l'immagine rappresentava una parola che iniziava per «s» (Figura 9.23). Che cosa significa questo? Vuol dire che i soggetti avevano potuto disporre delle informazioni riguardanti il lemma, prima di avere accesso alle informazioni fonologiche che avrebbero detto loro di non rispondere. Questi risultati quindi suggeriscono che la selezione del lemma potrebbe avvenire prima che sia attivata l'informazione fonologica a livello del lessema.

## ■ Substrati neurali della produzione linguistica

Vediamo ora una breve rassegna di quanto si sa circa i meccanismi cerebrali di produzione del linguaggio. Gli studi di neurovisualizzazione, su soggetti sottoposti a compiti di denominazione di immagini e di generazione di parole, hanno evidenziato l'attivazione della regione temporale basale nell'emisfero sinistro e dell'opercolo frontale sinistro (area di Broca). Inoltre nei pazienti epilettici la stimolazione corticale della regione temporale basale nell'emisfero sinistro determina una temporanea incapacità alla produzione linguistica. L'attivazione dell'opercolo frontale potrebbe essere specifica per la codifica fonologica nei processi di produzione del linguaggio. L'articolazione delle parole potrebbe coinvolgere le porzioni posteriori dell'area di Broca (area 44), ma alcuni studi hanno rilevato anche attivazione bilaterale della corteccia motoria, dell'area motoria supplementare (SMA) e dell'insula. La lesione dell'insula causa **aprassia** (difficoltà a pronunciare le parole) nei pazienti con afasia di Broca.

Ricapitolando, l'elaborazione linguistica implica la rappresentazione, la comprensione e la comunicazione di informazioni simboliche, in forma scritta oppure orale. Per quanto riguarda i processi della lettura e dell'ascolto, le questioni cruciali riguardano il modo con cui i significati delle parole sono immagazzinati nel cervello, e il modo in cui gli input visivi o uditivi hanno accesso a tali materiali. Specializzazioni a livello cerebrale codificano gli input linguistici e producono gli output, ma la semplice analisi dell'organizzazione del linguaggio non riesce a dare conto di tutta la ricchezza delle abilità linguistiche. Le caratteristiche più salienti del linguaggio sono l'incredibile velocità del suo sviluppo temporale e l'estensione del suo magazzino. Dove si nasconde il linguaggio, nelle vaste e sconosciute distese del cervello umano? Finora abbiamo passato in rassegna alcune delle prime e ancora provvisorie risposte emerse dalle ricerche sui pazienti con lesioni cerebrali e dagli studi di neuroimmagini su soggetti normali sotto il profilo neurologico. Nei prossimi paragrafi di questo capitolo approfondiremo l'esame delle complesse reti corticali, che potrebbero essere coinvolte nella comprensione e nella produzione del linguaggio.

## Neuropsicologia e disturbi del linguaggio

Come già abbiamo avuto occasione di dire all'inizio del libro, da sempre gli studiosi che si sono dedicati a indagare la funzione cerebrale hanno dovuto lottare con il concetto di localizzazione. Molte conoscenze importanti sulla percezione, l'attenzione e la memoria sono scaturite dalla possibilità di studiare le relazioni tra struttura e funzione del cervello nei soggetti con malattie o con lesioni cere-

## COME FUNZIONA IL CERVELLO

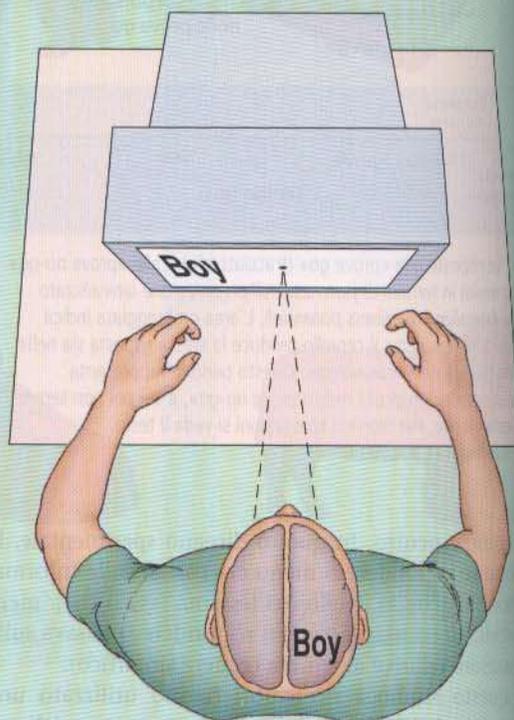
### L'emisfero destro capisce il linguaggio?

Anche se l'emisfero sinistro è dominante nell'elaborazione del linguaggio, ciò non significa che l'emisfero destro sia completamente privo di funzioni linguistiche, o che non sia in grado di capire il linguaggio. Alcune prove del fatto che l'emisfero destro possiede una certa capacità di comprensione del linguaggio vengono dai pazienti in cui i due emisferi sono isolati, in seguito a un intervento chirurgico. I pazienti con cervello diviso hanno subito la resezione delle fibre che collegano l'emisfero destro con il sinistro (il corpo calloso), al fine di alleviare i gravi attacchi di epilessia. Questo vuol dire che l'emisfero destro e il sinistro non sono più in grado di comunicare tra loro a livello corticale; perciò, quando si presenta un'informazione visiva all'emicampo visivo sinistro, essa raggiunge esclusivamente l'emisfero destro. Questi pazienti ci offrono quindi la possibilità di studiare le capacità linguistiche dell'emisfero destro isolato, dal momento che non vi può essere trasferimento di informazioni dalle aree percettive dell'emisfero destro verso le aree del linguaggio nell'emisfero sinistro.

I pazienti con cervello diviso, il cui emisfero destro è privo di connessioni col sinistro, sono in grado di produrre giudizi semantici semplici e di leggere i materiali presentati all'emisfero destro. Tuttavia questo emisfero isolato è in grado di gestire soltanto frasi con struttura grammaticale semplice; perciò, proposizioni come «Il ragazzo colpito dalla ragazza si mise a piangere» risultano difficili da capire a questi pazienti e vengono da loro interpretate in modo errato.

Un'altra prova del fatto che l'emisfero destro ha un ruolo nell'elaborazione linguistica viene dai pazienti con lesioni a questo emisfero. Anche se generalmente non sono afasici, questi pazienti soffrono di problemi del linguaggio, benché si tratti di deficit elusivi. Peter Hagoort e collaboratori (1996) hanno trovato che i pazienti con lesioni all'emisfero destro presentano i normali effetti di priming [innesco] con le parole usate in associazione (come *cottage cheese*, ricotta), mentre non mostrano il priming con parole che, pur appartenendo alla stessa categoria semantica, non sono associate (come *dog-horse*, cane-cavallo). Ciò potrebbe significare che l'emisfero sinistro non è molto dotato per l'elaborazione di parole che non hanno una stretta relazione semantica; l'emisfero destro invece sì. Questa ipotesi ha trovato conferma in ricerche sperimentali. Christine Chiarello (1991) ha trovato un vantaggio del campo visivo

sinistro/emisfero destro nell'elaborare parole che appartengono alla stessa categoria semantica, ma che non hanno una stretta associazione come, per esempio, *dog-horse*. In breve, l'emisfero destro possiede capacità linguistiche che potrebbero svolgere un ruolo importante nell'elaborazione del significato.



Presentazione di parole all'emisfero destro privo di connessioni col sinistro, in un paziente con cervello diviso. Gli stimoli che compaiono nel campo visivo di sinistra vengono trasmessi all'emisfero destro. Nei pazienti con cervello diviso, la resezione del corpo calloso fa sì che l'informazione (la parola *boy*, ragazzo) non arrivi all'emisfero sinistro, quello dominante per il linguaggio. Ciò consente di indagare le eventuali capacità linguistiche dell'emisfero destro.

brali. Lo stesso vale anche per il linguaggio, ma la complessità del sistema a esso deputato e l'assenza di qualsiasi modello animale continuano a essere un ostacolo per la definitiva individuazione della sua struttura e dei meccanismi neurali sottostanti. Perciò lo sforzo per identificare i correlati neurali del linguaggio resta una delle più grandi sfide che le neuroscienze cognitive devono affrontare.

Non siamo ancora in grado di descrivere in quale modo le specifiche funzioni del sistema deputato al linguaggio, così ben definite dalla psicolinguistica, si vadano a mappare direttamente sulle complesse strutture anatomiche cerebrali. Tuttavia, come abbiamo visto nei precedenti paragrafi di questo capitolo, vi sono indizi che possono aiu-

tarci a risolvere il puzzle della relazione cervello-linguaggio, indizi che derivano in gran parte dallo studio di pazienti affetti da afasia, cioè da problemi del linguaggio conseguenti a danni o a malattie cerebrali. All'inizio del prossimo paragrafo passeremo in rassegna i contributi che le ricerche sull'afasia hanno portato alla nostra conoscenza del linguaggio e del cervello. Cominceremo col ripercorrere a grandi linee la storia dell'afasia e delle ricerche sulle relazioni cervello-linguaggio, presentando i modelli classici che hanno dominato questo campo di ricerca per oltre un secolo. Benché le prove di cui attualmente disponiamo circa l'organizzazione cerebrale delle funzioni linguistiche abbiano sorpassato di molto i modelli classici

essi esercitano ancora una grande influenza sul nostro modo di pensare, e i termini e i concetti sviluppati nel corso della storia della ricerca sull'afasia sono cruciali, per comprendere le idee e i concetti attuali sulla rappresentazione del linguaggio a livello del cervello. Faremo quindi un breve passo indietro per poter ricostruire l'intera storia di queste ricerche. Poi, dopo avere presentato i modelli classici, faremo ritorno al presente per vedere ciò che gli attuali studi sull'afasia stanno rivelando in merito all'organizzazione cerebrale del linguaggio.

## Afasia

Le lesioni al cervello possono portare a disturbi del linguaggio che vanno complessivamente sotto il nome di *afasia*, un termine che abbraccia tutti i deficit nella comprensione e nella produzione del linguaggio associati a un danno neurologico. L'afasia è un disturbo estremamente comune. Circa il 40% di tutti coloro che sono colpiti da ictus soffre di un certo grado di afasia, perlomeno nella fase acuta, cioè nei primi mesi successivi all'ictus. Tuttavia molto spesso i sintomi dell'afasia persistono e questi pazienti sono costretti ad affrontare problemi duraturi nella comprensione o nella produzione del linguaggio, sia orale che scritto. I deficit afasici si distinguono in primari e secondari. L'afasia primaria è dovuta a disturbi dei meccanismi per l'elaborazione del linguaggio; l'afasia secondaria deriva da danni alla memoria, disturbi dell'attenzione, problemi percettivi. Alcuni ricercatori classificano i pazienti come afasici soltanto quando il loro problema è causato da un danno al sistema del linguaggio (cioè quando si tratta di afasia primaria).

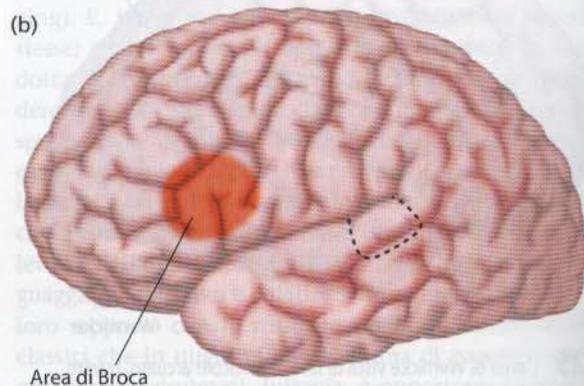
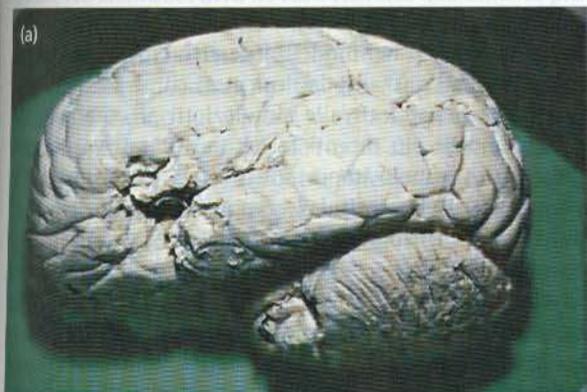
### Storia delle ricerche sull'afasia

Il modo migliore per capire i diversi sistemi di classificazione delle afasie è rivedere ciò che è emerso su cervello e linguaggio durante lo sviluppo storico delle ricerche sui

pazienti afasici. Gli scienziati del XIX secolo proposero che lesioni cerebrali localizzate potessero portare a specifiche perdite funzionali. Uno di questi studiosi, il francese Jean-Baptiste Bouillaud, raccolse prove su centinaia di pazienti con lesioni al cervello che manifestavano problemi del linguaggio. In base al lato (emisfero sinistro oppure destro) e alla posizione in cui si trovava la lesione, Bouillaud giunse a ritenere che la sede del linguaggio fosse il lobo frontale. Questa era la visione dominante nel periodo in cui Paul Broca incominciò a condurre le sue osservazioni su linguaggio e cervello; effettivamente non era una spiegazione del tutto errata.

Tra i pazienti seguiti da Broca, capitò un uomo con un'infezione a una gamba. Quest'uomo era ospedalizzato già da molto tempo, poiché aveva perso l'uso della parola da più di vent'anni. Dieci anni prima di arrivare alla clinica di Broca, l'uomo aveva perso anche l'uso del braccio destro. Il suo nome era Leborgne, ma gli altri pazienti lo chiamavano «Tan», perché da molti anni non era in grado di pronunciare altro che questa sillaba priva di senso («Tan tan tan, tan tan, tan tan tan...») intercalata, di quando in quando, da una bestemmia. L'uomo morì pochi giorni dopo il suo trasferimento alla clinica di Broca. Durante l'autopsia Broca osservò che il paziente aveva una lesione nella porzione posteriore del giro frontale inferiore sinistro. Questa regione, che include le suddivisioni del giro frontale inferiore note come *parte triangolare* e *parte opercolare*, oggi è chiamata *area di Broca* (Figura 9.24). L'esame autopsico si limitò a un'analisi anatomica superficiale; il cervello non fu sezionato o studiato con tecniche microscopiche. Il tessuto cerebrale del paziente fu però saggiato per individuare eventuali segni di ammorbidimento, un indizio di danno. Broca trovò segni di ammorbidimento su una regione che si estendeva dal lobo frontale, nel quale la lesione era evidente già all'ispezione visiva, all'opercolo, che includeva le porzioni più inferiori del giro precentrale e le regioni adiacenti.

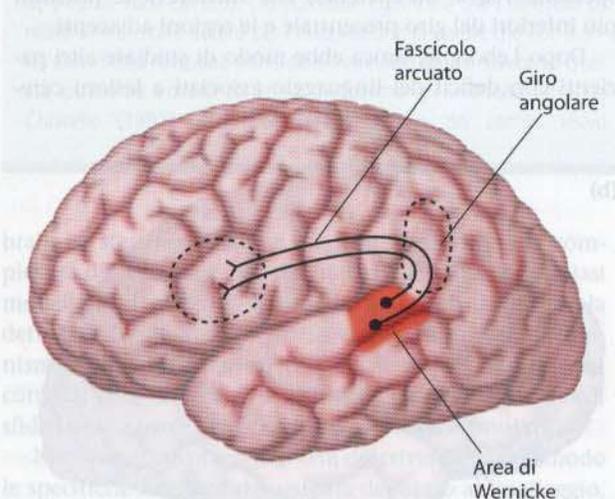
Dopo Leborgne, Broca ebbe modo di studiare altri pazienti con deficit del linguaggio associati a lesioni cere-



**9.24** (a) Il cervello di Leborgne (il paziente soprannominato «Tan» studiato da Broca), conservato in un museo di Parigi. (b) L'area dell'emisfero sinistro che era danneggiata nel cervello di Leborgne e che oggi è chiamata *area di Broca* (in rosso). Le linee tratteggiate delimitano l'area di Wernicke.

brali. In genere questi soggetti soffrivano di emiparesi destra (mancanza di forza nel braccio destro e nella gamba destra), congiuntamente a disordini del linguaggio. Poiché queste persone erano destrimane, Broca concluse che le aree cerebrali deputate alla produzione del linguaggio erano localizzate nel lobo frontale inferiore dell'emisfero sinistro. Questa deduzione si basava sul fatto che le lesioni all'emisfero destro portavano ai deficit più gravi nella sensazione e nel controllo motorio della parte sinistra del corpo, e viceversa. Quindi, se si manifesta un'emiparesi nella parte destra del corpo, ciò implica che vi è stato un danno all'emisfero sinistro. Se sono presenti disturbi del linguaggio, devono derivare anch'essi dalla lesione all'emisfero sinistro.

Una seconda area coinvolta nel linguaggio fu trovata nelle regioni posteriori del cervello, lontano dalla regione frontale descritta da Broca. Negli anni '70 dell'Ottocento un medico tedesco, Karl Wernicke, descrisse due pazienti che in seguito a un colpo apoplettico avevano problemi a capire il linguaggio parlato. Diversamente dagli afasici descritti da Broca, questi pazienti avevano eloquio fluente ma producevano suoni, parole e frasi senza senso. Inoltre, manifestavano gravi deficit nella comprensione di ciò che veniva loro detto. Più tardi Wernicke eseguì l'autopsia di uno di questi pazienti e scoprì che il suo cervello presentava lesioni nelle regioni posteriori del giro temporale superiore. Poiché l'elaborazione uditiva avviene in una regione vicina (situata anteriormente) alla corteccia temporale superiore all'interno dei giri di Heschl, Wernicke ne dedusse che questa regione più posteriore partecipava al magazzino uditivo delle parole, cioè si trattava di un'area per la memoria uditiva delle parole. In suo onore quest'area fu poi chiamata *area di Wernicke* (Figura 9.25). Secondo Wernicke i danni in quest'area determinavano problemi nella comprensione del linguaggio,

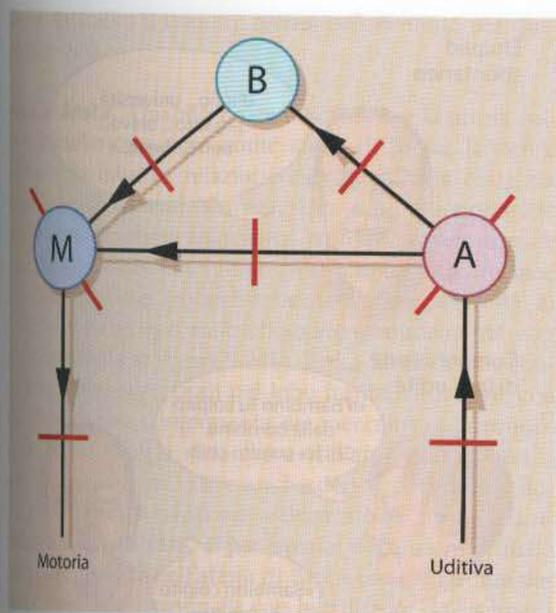


**9.25** L'area di Wernicke vista di lato. Il fascicolo arcuato, ovvero il fascio di assoni che collega le aree di Broca e di Wernicke, ha origine dall'area di Wernicke, attraversa il giro angolare e termina sui neuroni dell'area di Broca.

perché il paziente aveva perduto la memoria delle parole e il suo eloquio senza senso derivava dall'incapacità di controllare l'output verbale.

Benché la sua spiegazione circa la perdita funzionale del linguaggio da lui osservata non fosse del tutto corretta, la scoperta di Wernicke costituì l'altra fondamentale nozione tratta dallo studio dei deficit dovuti a lesioni cerebrali, e contribuì a creare quel quadro delle relazioni cervello-linguaggio che ha dominato la scena scientifica per quasi un secolo. In altre parole si riteneva che il danneggiamento dell'area di Broca nelle porzioni infero-laterali del lobo frontale sinistro generasse difficoltà nella produzione del linguaggio (*afasia motoria* o *espressiva*). Mentre il danneggiamento delle aree parietali e sovratemporali infero-laterali posteriori dell'emisfero sinistro (che comprendono il giro sovramarginale, il giro angolare e le regioni posteriori del giro temporale superiore) era ritenuto la causa di un deficit della comprensione del linguaggio (*afasia sensoriale* o *recettiva*). Al tempo di Broca era considerata importante soprattutto l'analisi al livello delle parole, mentre si prestava scarsa attenzione ai deficit al livello dell'intera proposizione. Nella visione allora prevalente la chiave del linguaggio era la memoria delle parole. L'area di Broca era considerata la sede della memoria motoria per le parole; mentre l'area di Wernicke era coinvolta nella memoria sensoriale delle parole. Queste idee portarono a concepire il linguaggio come il prodotto dell'interazione di tre aree cerebrali: un'area per la produzione, un'area per la comprensione e un'area concettuale.

**Uno dei primi modelli dell'organizzazione del linguaggio** Secondo Wernicke, Broca e i loro contemporanei, il linguaggio era localizzato in strutture anatomicamente interconnesse, che nell'insieme costituivano il sistema cerebrale del linguaggio. Questa visione, a volte indicata come la *teoria localizzazionista classica* o *modello connessionista del linguaggio*, ha dominato la scena fino agli anni '70 del Novecento, essendo stata riportata in auge negli anni '60 dal neuropsicologo americano Norman Geschwind (1967). Occorre notare che nell'accezione di Geschwind «modello connessionista» non ha lo stesso significato assunto nei modelli interattivi, o «connessionisti», sviluppati più tardi da ricercatori come McClelland e Rumelhart e applicati alle simulazioni al computer. In questi modelli più recenti la natura interattiva dei processi gioca un ruolo importantissimo e, in contrasto con il modello di Geschwind, le rappresentazioni delle funzioni sono distribuite, anziché localizzate. Per evitare possibili confusioni, faremo riferimento al modello di Geschwind come alla *teoria localizzazionista classica*. La Figura 9.26 presenta la versione di questa teoria proposta per la prima volta da Lichtheim nel 1885; in questo modello i tre principali centri coinvolti nell'elaborazione linguistica uditiva o orale sono indicati con le lettere A, B e M. L'area di Wernicke, A, rappresenta il lessico fonolo-



**9.26** Il classico modello proposto da Lichtheim per l'elaborazione linguistica. A rappresenta l'area che immagazzina in modo permanente le informazioni sui suoni delle parole. M è l'area della pianificazione e della programmazione del discorso. Le informazioni concettuali sono memorizzate in B. Le frecce indicano la direzione del flusso informativo. In base a questo modello si prevede che lesioni nelle tre aree principali o nelle connessioni fra di esse, oppure a livello dei loro input o degli output, fossero in grado di spiegare sette delle principali sindromi afasiche. Le localizzazioni delle possibili lesioni sono rappresentate dalle barre che intersecano le connessioni fra A, B e M. Adattata da Caplan (1994).

gico, cioè l'area in cui sono immagazzinate in via permanente le informazioni relative ai suoni delle parole. L'area di Broca, M, è l'area di programmazione e pianificazione del linguaggio. L'area B è il magazzino dei concetti. Nei modelli ottocenteschi del linguaggio i concetti erano ampiamente distribuiti nel cervello, ma la versione relativamente più moderna di Wernicke-Lichtheim-Geschwind localizzava i concetti in aree discrete. Per esempio, la regione contenente il giro sovramarginale e il giro angolare era ritenuta l'area in cui venivano elaborate le proprietà sensoriali in entrata (uditive, visive e tattili), ovvero le caratteristiche fisiche delle parole.

Nella teoria localizzazionista classica le informazioni linguistiche sono localizzate in regioni discrete del cervello, fra loro interconnesse da tratti di sostanza bianca. Si riteneva che l'elaborazione linguistica comportasse l'attivazione di queste rappresentazioni linguistiche e il loro trasferimento da un'area del linguaggio all'altra. L'idea è semplice. Secondo la teoria classica, la comprensione del linguaggio è caratterizzata da un flusso di informazioni di questo tipo: il sistema sensoriale uditivo traduce gli input acustici, poi trasmette l'informazione alla corteccia associativa parieto-temporo-occipitale (incentrata nel giro angolare) e di qui all'area di Wernicke, dove l'informazione fonologica ha accesso alle rappresentazio-

ni delle parole. Dall'area di Wernicke l'informazione fluisce attraverso il fascicolo arcuato (un tratto di sostanza bianca) all'area di Broca, dove sono immagazzinate le proprietà grammaticali e dove viene assegnata la struttura del periodo. A loro volta le rappresentazioni delle parole attivano i rispettivi concetti nei centri dei concetti e, voilà, si ha la comprensione uditiva. Nella produzione linguistica il processo sarebbe simile, tranne per il fatto che i concetti attivati nelle aree dei concetti generano le rappresentazioni fonologiche delle parole nell'area di Wernicke, poi inviate all'area di Broca per la programmazione delle azioni motorie coinvolte nell'articolazione del discorso.

Nella Figura 9.26 le linee che collegano le aree A, B e M sono barrate. Queste linee rappresentano le fibre di sostanza bianca che collegano tra loro le aree di Wernicke, di Broca e i centri dei concetti; la barra rappresenta l'ipotetica lesione di queste fibre, che causerebbe la sconnesione delle aree. Le lesioni nei centri A, B e M rifletterebbero il danno di aree specifiche del linguaggio. Quindi, se il modello di Wernicke-Lichtheim-Geschwind fosse corretto, dovremmo trovare deficit linguistici da lesioni cerebrali in cui si evidenziano sintomi e segni corrispondenti alle previsioni del modello. In effetti, vari tipi di afasia corrispondono alle previsioni del modello classico, che quindi era, in effetti, un buon modello.

Lichtheim riportò casi clinici dei diversi tipi di afasia previsti dal modello, ma non è affatto certo che si trattasse di forme davvero distinte. Sebbene alcuni dati ancora esistenti depongano a favore dei presupposti fondamentali del modello di Wernicke-Lichtheim-Geschwind, questo modello ha senz'altro difetti significativi. Innanzitutto, prima dell'avvento delle tecniche di neuroimmagine come la tomografia computerizzata (TAC) e la risonanza magnetica (MRI), la localizzazione delle lesioni era molto imprecisa e si basava sulle informazioni raccolte con l'esame autoptico, non sempre possibile, o su congetture fondate sulla copresenza di altri sintomi meglio definiti (per esempio, l'emiparesi). In secondo luogo vi è una grande variabilità nel modo di definire le lesioni negli studi autoptici (come, d'altra parte, negli studi di imaging). E, terzo, vi è una grande variabilità tra le lesioni stesse; per esempio, l'afasia di Wernicke talvolta è prodotta da lesioni in regioni cerebrali anteriori! Per concludere, quando si procede a classificarli, i pazienti ricadono spesso in più di una categoria diagnostica. L'afasia di Broca, per esempio, ha varie componenti. Ciò premesso, vale la pena di passare in rassegna le principali sindromi afasiche e considerare le difficoltà di interpretazione che si rilevano nella letteratura sulle relazioni tra cervello e linguaggio. L'obiettivo è chiarire sempre meglio le afasie e il loro rapporto con le strutture cerebrali, sia nei modelli classici che in quelli moderni. Prima di passare in rassegna le varie sindromi, tuttavia, è opportuno considerare brevemente come viene diagnosticata e classificata l'afasia nella clinica medica.

### ■ Classificazione delle afasie

Gli studiosi che indagano sulle afasie, e in generale sulle patologie del linguaggio, hanno sviluppato vari criteri per la diagnosi e la caratterizzazione dei disturbi del linguaggio. Le classificazioni diagnostiche possono escludere le neuropatologie suscettibili di essere trattate o che richiedono speciali interventi nella cura e nella riabilitazione dei pazienti afasici. I diversi sistemi di classificazione variano anche rispetto alla loro capacità di distinguere fra i deficit linguistici. Questa variabilità deriva in parte dal fatto che la lesione di un paziente raramente, per non dire mai, genera lo stesso quadro sintomatico che si riscontra in un altro paziente. Ciononostante, la suddivisione dell'afasia in vari sottotipi ha senso dal punto di vista clinico. I tre parametri più importanti per valutare i disturbi del linguaggio sono l'eloquio spontaneo, la comprensione uditiva e la ripetizione verbale. La performance dei pazienti permette al clinico esperto di distinguere tra vari tipi di afasie.

**Come si diagnostica l'afasia di Broca** L'afasia di Broca è la forma di afasia nota da più tempo, e forse la meglio studiata. Caratterizzato soprattutto dalla difficoltà di eloquio, questo disturbo è accompagnato da una vasta gamma di sintomi (Figura 9.27). Nelle forme più gravi spesso si osserva la produzione di un unico enunciato, come era nel primo paziente studiato dallo stesso Broca. Esiste però una grande variabilità; la gamma comprende mormorii inintelligibili, singole sillabe o parole monosillabiche («tan», «si», «no»), frasi molto brevi oppure mancanti dei vocaboli funzionali o dei termini grammaticali, fino a frasi fatte come «Teso come una corda di violino e pronto per l'amore». A volte resta inalterata la capacità di cantare, come pure quella di recitare frasi e brani in prosa, o di contare.

Nei pazienti affetti da afasia di Broca l'eloquio è spesso telegrafico, molto faticoso e prodotto in modo irregolare. La capacità di trovare la parola o la combinazione di parole appropriata risulta compromessa, e così pure la capacità di pronunciarla correttamente. Alcuni problemi derivano da deficit del linguaggio, come la disartria (la perdita di controllo sui muscoli articolatori) e l'aprassia (deficit nella capacità di programmare l'articolazione).

L'entità con cui l'afasia di Broca colpisce solo la produzione del linguaggio, in particolare del linguaggio parlato, dipende dalla gravità degli eventuali deficit di comprensione. Questi deficit si osservano, in genere, quando la comprensione del significato di un periodo richiede l'esatta interpretazione della sua struttura grammaticale, cioè quando il significato del periodo non può essere ricavato semplicemente dalle singole parole. Consideriamo i seguenti esempi: «Il bambino mangiò il biscotto» e «Il bambino fu preso a calci dalla bambina». Il secondo periodo è più complesso e potrebbe dare luogo a interpretazioni erronee, a meno che l'ascoltatore non utilizzi le re-



**9.27** I disturbi che caratterizzano l'afasia di Broca. Questi pazienti possono avere problemi nella produzione e nella comprensione del discorso, o nel ripetere le frasi dette loro dal medico (nella figura, la donna a sinistra). L'eloquio di questi pazienti è lento, faticoso e telegrafico poiché, mancando gli elementi funzionali, assomiglia allo stile di un telegramma (in alto). Chi soffre di afasia di Broca può avere molte difficoltà anche a capire le frasi reversibili, la cui comprensione dipende dalla corretta assegnazione sintattica dei ruoli tematici (chi ha colpito chi) (al centro). Infine questi pazienti possono avere problemi nell'articolare il discorso, a causa di deficit nella regolazione dell'apparato articolatorio (per esempio, dei muscoli della lingua) (in basso).

gole grammaticali per determinare chi ha calciato chi. Invece, per poter capire che il bambino ha mangiato il biscotto e non viceversa, un afasico non deve necessariamente applicare tali regole (cioè la proposizione «Il biscotto mangiò il bambino» può essere rigettata in base alla conoscenza generale che i biscotti sono mangiati e i bambini mangiano). La nozione diffusa secondo cui nell'afasia di Broca il disturbo è solo di natura espressiva, non è corretta; questi pazienti infatti possono manifestare anche deficit di comprensione. Gli afasici di Broca non sono privati delle conoscenze grammaticali, ma hanno difficoltà a elaborare gli aspetti grammaticali del lingua-

gio, come indica il termine *agrammatismo* usato per questo problema.

**Area di Broca** Quando Broca descrisse per la prima volta il disturbo oggi noto come afasia di Broca, lo definì *afemia* e lo mise in relazione con danni alla corteccia frontale ventro-laterale sinistra, nelle regioni denominate per la loro struttura anatomica *parte triangolare* e *parte opercolare*, le stesse che più tardi furono definite, in base alle caratteristiche citoarchitettoniche, aree 44 e 45 di Brodmann e che oggi sono chiamate comunemente *area di Broca* (si veda la Figura 9.24b). Broca limitò le sue conclusioni ai danni corticali nel lobo frontale inferiore, che egli riteneva una componente dei meccanismi di produzione del linguaggio, ma, come abbiamo detto sopra, i sintomi possono includere anche deficit di comprensione, soprattutto in relazione a determinate forme grammaticali. In ogni caso, e per nostra sfortuna, è difficile correlare i sintomi dell'afasia di Broca (una sindrome delimitata in termini funzionali) con le strutture classicamente identificate con l'area di Broca (una localizzazione cerebrale definita in termini anatomici).

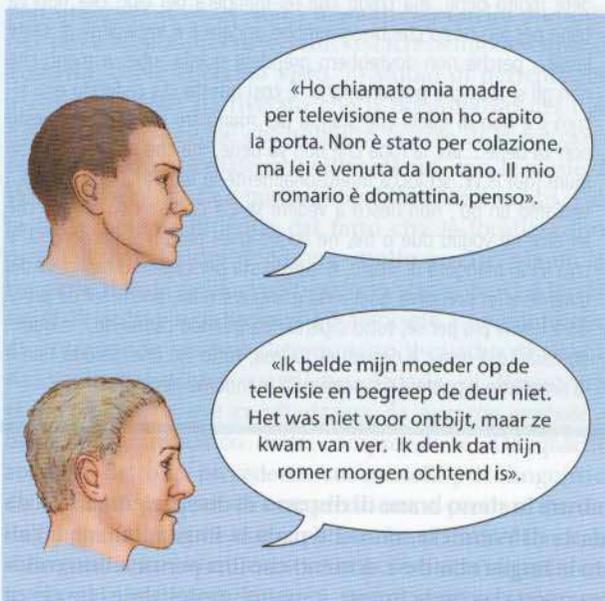
Dubbi sul fatto che l'area di Broca fosse responsabile dei deficit linguistici osservabili nell'afasia furono sollevati già al tempo di Broca. Alcuni studi riportarono casi di lesioni all'area di Broca non associate a deficit del linguaggio; altri rilevarono deficit linguistici in presenza di danni limitati a regioni cerebrali più posteriori, esterne all'area di Broca. La relazione fra area di Broca e afasia di Broca continua a essere messa in discussione. Per esempio Nina Dronkers (1996), una specialista in afasia che lavora presso la University of California a Davis, ha descritto ventidue pazienti con lesioni nell'area di Broca (definite mediante tecniche di neuroimmagine), soltanto dieci dei quali erano affetti da afasia di Broca.

Le regioni che rientrano nella classica definizione di area di Broca si limitano, in genere, alla sostanza grigia della corteccia frontale ventro-laterale dell'emisfero sinistro. Broca non considerò la sostanza bianca sottostante, gli strati profondi della corteccia e le strutture subcorticali come potenziali componenti della sindrome da lui osservata. Tuttavia all'inizio del XX secolo fu avanzata l'ipotesi che le strutture profonde dell'area di Broca fossero coinvolte nei deficit dell'afasia. Tra le aree cerebrali che si supponeva fossero coinvolte nell'afasia vi erano la corteccia insulare, il nucleo lenticolare dei gangli della base e le fibre di passaggio. La ricerca di Dronkers (1996) ha trovato che tutti i pazienti con afasia di Broca e aprassia (difficoltà a pronunciare le parole), analizzati mediante esame autoptico o con tecniche di imaging, presentavano lesioni all'insula.

Ciò vale anche per il primo paziente studiato da Broca. Recenti indagini condotte con la tomografia computerizzata sul cervello di questo paziente – oggi conservato in un museo francese – hanno evidenziato che le lesioni si estendevano alle regioni sottostanti alle porzioni corticali superficiali, cioè quelle classicamente comprese nel-

l'area di Broca, fino a includere la corteccia insulare e porzioni dei gangli della base. Quindi la lesione delle regioni della corteccia frontale comprese nella classica definizione di area di Broca non è la sola responsabile dei deficit dell'afasia di Broca.

**Diagnosi dell'afasia di Wernicke** L'afasia di Wernicke è un disturbo che interessa principalmente la comprensione del linguaggio. I pazienti affetti da questa sindrome hanno problemi a comprendere il linguaggio parlato o scritto, e a volte il loro deficit è totale. A causa dei problemi di comprensione, questi soggetti restano esclusi dalla comunicazione con gli altri, inoltre non riescono a produrre frasi dotate di senso. I pazienti affetti da afasia di Wernicke generano un eloquio all'apparenza fluente, nettamente diverso dagli enunciati telegrafici dei soggetti con afasia di Broca, ma ciò che dicono non ha significato. Per avere un'idea dell'eloquio fluente ma privo di senso di una persona affetta da afasia di Wernicke, proviamo a immaginare di stare ascoltando qualcuno che parla in una lingua a noi sconosciuta. Se anche quella persona soffre di un disturbo del linguaggio, probabilmente non ce ne accorgemmo. Il suo discorso sarebbe composto di stringhe di parole, suoni ed espressioni gergali nel complesso privi di significato, ma a noi «suonerebbe bene». La Figura 9.28



**9.28** Nell'afasia di Wernicke l'eloquio spontaneo è molto fluente.

Se la persona che ascolta non parla la stessa lingua del paziente afasico, potrebbe non rilevare alcuna anomalia. Per esempio, alla maggior parte degli italiani il messaggio in olandese che compare nel fumetto in basso potrebbe suonare perfettamente normale (se non conoscono l'olandese), perché fluisce senza intoppi. Ma, come si può vedere dalla traduzione nel fumetto in alto, il discorso prodotto da un paziente con afasia di Wernicke molte volte è privo di senso. Spesso questi soggetti commettono errori semantici; per esempio possono dire «televisione» invece di «telefono». Inoltre a volte producono enunciati che non esistono nella loro lingua (gergo), come il «romario» di questo esempio.

## COME FUNZIONA IL CERVELLO

### L'uomo senza nomi

Il danneggiamento dell'area di Wernicke o della corteccia circostante può talvolta produrre un disordine detto *anomia*, l'incapacità di dire il nome delle cose. I pazienti con anomia hanno difficoltà a trovare le parole che identificano gli oggetti. Questo disordine può essere straordinariamente circoscritto: il deficit linguistico è limitato all'incapacità di nominare gli oggetti, ma la comprensione è intatta e il discorso non è alterato in alcun modo. Uno di questi pazienti, H.W. – un intelligente uomo d'affari che dirige un'azienda di sua proprietà – è stato studiato dalla neuroscienziata Kathleen Baynes alla University of California, a Davis. In seguito a un ictus all'emisfero sinistro, H.W. soffriva di anomia e non presentava praticamente nessun altro deficit degno di nota, fatta eccezione per una leggera emiparesi della parte destra del corpo (in realtà piuttosto leggera, infatti H.W. è fisicamente robusto) e per un lieve deficit nel riconoscimento dei volti. Ma la sua anomia era straordinaria. Ecco un passaggio del commento di H.W. all'immagine visibile qui sotto, in cui un ragazzo sta per cadere da uno sgabello mentre cerca di raggiungere su una mensola un vaso pieno di biscotti e intanto ne allunga uno alla sorellina:

«Innanzitutto questo sta cadendo, o è lì lì per farlo, e tutti e due stanno prendendo qualcosa da mangiare... ma il problema è che lui perderà la presa e finiranno per cadere entrambi... Non riesco a vedere molto bene, ma credo che lei mangerà del cibo che non va bene per lei; credo che bisognerebbe andare lì e impedirgli di salire lassù... perché non dovrebbero prendere quella roba, a meno che non gli si dica che possono farlo. E così questo sta cadendo e di sicuro c'è uno di quelli che stanno per mangiare e... e certo questo non va bene... uh, la roba che non va bene, ma che piace, um mum mum [qui H.W. schiocca intenzionalmente le labbra]... e così loro... vediamo un po', non riesco a vedere se c'è oppure no... Penso che lei dice ne voglio due o tre, ne voglio uno, penso, sì penso così, e così lei lo mangerà di sicuro, e questo sta per cadere o qualcosa del genere, e lei prenderà quello da mangiare e lui, anche lui ne prenderà uno o più per sé, tutto dipende da quando cadranno... e quando cadrà giù non c'è nessun problema, tutto ciò che devono fare è di rimetterlo a posto e ritornare su a prenderne degli altri».

H.W. era in grado di descrivere vari aspetti della scena, ma non di dire i nomi degli oggetti, quindi il suo discorso aveva un contenuto informativo minimale. Tuttavia H.W. riusciva a usare correttamente le strutture grammaticali, come le frasi nominali; solo che in queste frasi mancava il nome. Per esempio, diceva «questo» al posto di «sedia» e sostituiva con nomi generici come «cibo» altri, più specifici, come «biscotto», anche se sapeva che si trattava di un biscotto, che aveva un buon sapore e che gli adulti lo considerano un alimento non troppo adatto ai bambini. La localizzazione della sua lesione è illuminante e al tempo stesso non abbastanza: si trattava di un'estesa lesione all'emisfero sinistro, che comprendeva vaste regioni delle aree posteriori del linguaggio. Tuttavia il suo deficit funzionale era ben limitato e specifico: non riusciva a dire i nomi.

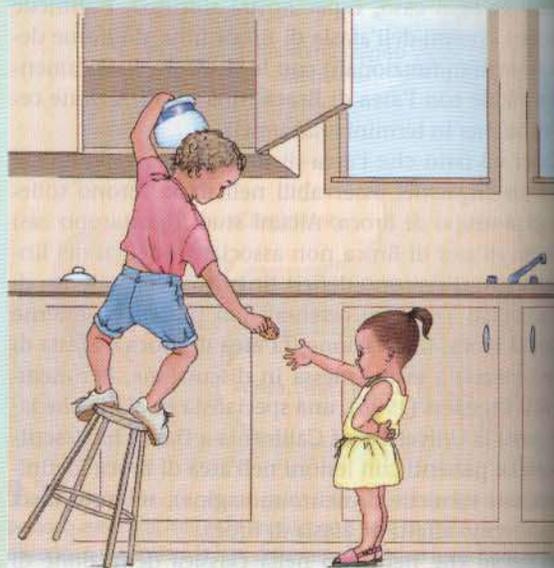


Immagine simile a quella mostrata ad H.W. dalla neuroscienziata Kathleen Baynes. Nel testo è riportata la descrizione che il paziente fornì di questa immagine.

mostra lo stesso brano di discorso di due pazienti affetti da afasia di Wernicke, uno che parla la lingua italiana e l'altro la lingua olandese. A meno che una persona non conosca questa seconda lingua, è molto improbabile che riesca a distinguere l'enunciato anomalo da un brano di prosa normale.

**Area di Wernicke** Nell'Ottocento, studi divenuti ormai classici misero per la prima volta in relazione la sindrome conosciuta come *afasia di Wernicke* con quella che oggi chiamiamo *area di Wernicke*. L'area di Wernicke comprende il terzo posteriore del GTS. Tuttavia i deficit di comprensione del linguaggio derivano anche da lesioni nella giunzione fra i lobi parietale e temporale, che com-

prende i giri sovramarginale e angolare. Qual è il grado di corrispondenza fra i deficit di comprensione del linguaggio e l'area di Wernicke? E in quale misura il deficit può essere attribuito al danno della corteccia circostante della sostanza bianca?

Come avviene per l'afasia di Broca e l'area di Broca, deficit di comprensione a volte possono derivare anche da lesioni che risparmiano l'area di Wernicke. Da uno studio condotto su settanta pazienti con afasia di Wernicke è emerso che in sette di essi la lesione era limitata soltanto a regioni esterne all'area di Wernicke. Invece, in certi pazienti affetti da afasia di Wernicke con lesioni nell'area di Wernicke la comprensione può migliorare col tempo, al pari passo col miglioramento della loro afasia, fino al per-

sistere di una forma di afasia più leggera o soltanto di un'anomia (si veda la scheda «L'uomo senza nomi»).

Prove emerse da studi recenti vanno a sostegno di questo quadro d'insieme. Si ha afasia di Wernicke grave e persistente soltanto se la lesione riguarda l'area di Wernicke e la corteccia circostante del lobo temporale posteriore, o la sottostante sostanza bianca che collega le aree del linguaggio nel lobo temporale alle altre regioni cerebrali. Quindi l'area di Wernicke è al centro di una regione posteriore del cervello, il cui funzionamento è necessario per i normali processi di comprensione del linguaggio. Le lesioni limitate all'area di Wernicke portano soltanto ad afasia temporanea, perché il danneggiamento di quest'area non è la vera causa della sindrome di Wernicke; i responsabili dei problemi più gravi sono infatti i danni secondari, dovuti al rigonfiamento dei tessuti. Quando il gonfiore intorno alla corteccia lesionata scompare, la comprensione migliora. Alcuni ricercatori, come Dronkers, hanno suggerito che la chiave del fenomeno possa risiedere nella sostanza bianca sottostante all'area di Wernicke. Un danno corticale che compromette temporaneamente i tratti di sostanza bianca sotto la corteccia può in gran parte spiegare l'intermittenza che caratterizza l'afasia di Wernicke. Per arrivare a conclusioni certe, sono chiaramente necessari ulteriori studi di tipo funzionale.

### ■ **Danni alle connessioni fra le diverse aree del linguaggio**

Nel descrivere il modello di Wernicke-Lichtheim-Geschwind abbiamo accennato alle forti connessioni fra regioni anteriori e posteriori del cervello che sono coinvolte, rispettivamente, nella produzione e nella comprensione del linguaggio. Nell'ambito di questo modello, illustrato nella Figura 9.26, sono stati dedotti i quadri sintomatici connessi con danni sistematici a questi tratti di sostanza bianca. Wernicke prevede che il danneggiamento delle fibre che proiettano dall'area di Wernicke a quella di Broca doveva causare un certo tipo di afasia. In effetti una particolare sindrome di sconnesione, conosciuta come **afasia di conduzione**, può manifestarsi in seguito al danneggiamento del **fascicolo arcuato**, la via che connette l'area di Wernicke con l'area di Broca. Questi pazienti afasici hanno problemi nella produzione verbale spontanea e nella ripetizione del discorso, inoltre a volte usano le parole in modo scorretto. Possono capire le parole che vedono o che vedono scritte e riescono a percepire gli errori linguistici che loro stessi commettono, ma non sono in grado di correggerli. L'afasia di conduzione ha quindi origine dal danneggiamento delle connessioni fra le aree posteriori e anteriori del linguaggio. Ma sintomi simili si manifestano anche con lesioni all'insula e a varie parti della corteccia uditiva. Una possibile spiegazione per queste somiglianze può consistere nel danno non rilevante di altre fibre nervose, o nel fatto che le connessioni fra area di Wernicke e area di Broca non sono così forti come

le connessioni fra le più estese aree anteriori e posteriori del linguaggio. In effetti sarebbe più opportuno porre l'accento non tanto sulle aree di Wernicke o di Broca, ma piuttosto sulle regioni cerebrali che presentano una più stretta correlazione con le sindromi afasiche di Wernicke e di Broca. Considerando le cose in questo modo, una lesione all'area che circonda l'insula potrebbe interrompere la connessione tra le aree per la comprensione e per la produzione del linguaggio.

Il modello di Wernicke-Lichtheim-Geschwind porta inoltre a prevedere che il danneggiamento delle connessioni fra le aree della rappresentazione concettuale (area B nella Figura 9.26, forse nei giri sovramarginale e angolare) e l'area di Wernicke pregiudichi la capacità di comprendere gli input verbali, ma non quella di ripetere ciò che si è udito (*afasia sensoriale transcorticale*). In effetti i pazienti con lesioni nel giro sovramarginale e nel giro angolare manifestano problemi di questo tipo. Inoltre questi pazienti sono gli unici in grado di ripetere un discorso udito e, nel ripeterlo, di correggere gli errori grammaticali in esso presenti. Si è assunto che questi risultati provino che questa afasia potrebbe derivare dalla perdita della capacità di accedere alle informazioni semantiche, non accompagnata dalla perdita delle abilità sintattiche o fonologiche.

Il quadro che emerge dalla classificazione delle principali sindromi afasiche non è dissimile da quello proposto nel modello classico di Wernicke-Lichtheim-Geschwind. Tuttavia, come abbiamo visto, lo studio di pazienti con afasie particolari ha rivelato che il presupposto del modello classico – e cioè che soltanto le aree di Wernicke e di Broca siano associate, rispettivamente, con le afasie di Wernicke e di Broca – molto probabilmente è errato. Parte del problema dipende dal fatto che le localizzazioni originali delle lesioni non erano molto precise; ma un'altra parte risiede nella classificazione stessa, perché le afasie di Wernicke e di Broca sono associate a un complesso di sintomi che insieme determinano il quadro di ciascuna sindrome. Come sappiamo, l'afasia di Broca, per esempio, può essere caratterizzata da aprassia verbale e disturbo agrammatico della comprensione. Da quanto abbiamo detto in precedenza sui modelli psicolinguistici dei normali processi di comprensione e produzione del linguaggio, dovrebbe essere chiaro che si tratta di processi linguistici molto differenti e non è affatto sorprendente che tale varietà di funzioni sia sostenuta da più aree cerebrali e non dalla sola area di Broca.

### ■ **Meccanismi dei deficit afasici**

Abbiamo passato in rassegna i numerosi deficit del linguaggio associati ai principali tipi di afasia, dando per scontato che questi rappresentino problemi nelle capacità linguistiche. Ma quale forma assumono tali problemi? Il deficit dipende dalla vera e propria perdita di parti del sistema del linguaggio, come nel caso di un'automato-

bile con un danno selettivo alla seconda ma con tutte le altre marce intatte? Oppure il problema dell'afasia va visto come la perdita della capacità di usare correttamente le informazioni linguistiche, un po' come avere un cambio in perfette condizioni ma la frizione bruciata?

Queste domande riflettono un problema chiave nella ricerca sull'afasia: i deficit di comprensione nei pazienti afasici derivano dalla perdita di informazioni linguistiche immagazzinate in memoria, oppure dalla disgregazione di processi computazionali che agiscono sulle rappresentazioni degli input linguistici? I deficit delle afasie sono stati classicamente attribuiti alla perdita di conoscenze semantiche o sintattiche. Ma negli ultimi anni molti deficit afasici sono stati ricondotti al malfunzionamento di processi, piuttosto che alla vera e propria perdita di conoscenze. Due risultati hanno avuto un'importanza cruciale in questo cambiamento di prospettiva.

Pazienti affetti da afasia di Broca con gravi problemi di comprensione sintattica furono sottoposti a test in cui si utilizzava un compito di abbinamento frase-immagine (*sentence-picture matching task*). Spesso questi soggetti non erano in grado di indicare col dito l'immagine che corrispondeva al significato di una frase letta, soprattutto quando il periodo era costruito con forme sintattiche complesse. Per esempio, leggendo la proposizione «il ragazzo fu calciato dalla ragazza», i pazienti affetti da afasia di Broca possono non capire chi dà un calcio a chi. Se devono scegliere tra due immagini, una che rappresenta una ragazza che dà un calcio a un ragazzo e un'altra in cui un ragazzo sta dando un calcio a una ragazza, spesso scelgono l'immagine sbagliata. Ma in uno studio che ha avuto un'importanza fondamentale (Linebarger et al., 1983), pazienti con afasia di Broca che avevano perduto la capacità di abbinare immagini a frasi passive come quella dell'esempio sopra riportato, fornivano prestazioni notevolmente al di sopra della semplice casualità in un compito di giudizio grammaticale, in cui dovevano discriminare tra periodi sintatticamente corretti oppure scorretti, anche quando queste proposizioni erano composte da numerose strutture sintattiche.

Quindi la natura del compito ha un'influenza diretta sulla prestazione del paziente afasico. Inoltre i soggetti con afasia di Broca talvolta possono accedere a conoscenze strutturali e utilizzarle. La variabilità delle prestazioni di questi afasici in compiti linguistici di diversa natura depone a favore dell'ipotesi che il disturbo agrammatico della comprensione derivi da un deficit di elaborazione piuttosto che di rappresentazione; i pazienti conservano le conoscenze sintattiche, ma a volte non sono in grado di usarle e altre volte invece sì.

Anche la classica teoria secondo cui i pazienti affetti da afasia di Wernicke avrebbero subito una perdita di conoscenze semantiche, è stata messa in discussione da esperimenti in cui un compito di decisione lessicale imponeva a pazienti afasici di prendere una rapida decisione su parole-target. In questo compito i soggetti afasici

dovevano decidere il più rapidamente possibile se una stringa di lettere, o una sequenza di suoni, fosse una parola oppure no. Nei soggetti senza disturbi neurologici la rapidità nel formulare questo tipo di decisione aumentava, se la parola-target veniva fatta precedere da una parola correlata dal punto di vista semantico oppure associativo (questa parola fungeva quindi da innesco), rispetto a quando le parole precedenti non avevano alcuna relazione con i target. In questo compito i soggetti affetti da afasia di Wernicke mostrarono costantemente il normale pattern del priming, per le coppie di parole correlate sotto il profilo semantico o associativo. Ciò a dispetto del grave deficit che gli stessi pazienti dimostravano quando si richiedeva loro un giudizio semantico sulle parole. Perciò, quando l'elaborazione semantico-lessicale è saggiata mediante test impliciti (come nel compito della decisione lessicale), questi pazienti non mostrano alcun danno nonostante i loro problemi di comprensione. Questo risultato suggerisce che probabilmente le conoscenze semantiche-lessicali sono preservate, ma talvolta i pazienti afasici non vi hanno accesso o non riescono a utilizzarle ai fini della normale comprensione. Perché? Come può accadere tutto questo?

Secondo una teoria alternativa, l'afasia dipenderebbe non dalla perdita di informazioni linguistiche, bensì dalla compromissione dei processi mentali che elaborano in tempo reale quelle informazioni. Secondo questa interpretazione il cervello dei pazienti afasici non riesce a stare al passo con la sfida rappresentata dalla comprensione o dalla produzione del linguaggio, perché i processi per accedere alle informazioni linguistiche memorizzate e per utilizzarle non funzionano più alla velocità normale. Consideriamo la seguente analogia: un calciatore tira la palla a un suo compagno di squadra, che fa goal. Con straordinario tempismo e perfetta coordinazione, il compagno di squadra riceve la palla, supera i difensori avversari, calcia il pallone oltre il portiere e segna! Nella situazione normale, cioè con tutti i giocatori in campo e tutti in ottima forma, le interazioni avvengono con perfetta coordinazione temporale in un contesto di gioco che cambia molto rapidamente. Che cosa accadrebbe se nessun giocatore stesse correndo verso la rete avversaria pronto a ricevere la palla e a calciarla in rete? Naturalmente, non ci sarebbe nessun goal! La situazione sarebbe in questo caso, analoga all'afasia dovuta all'effettiva perdita di informazioni linguistiche memorizzate nel cervello, informazioni che quindi non potrebbero più essere usate per la comprensione e la produzione del linguaggio. Ma consideriamo quest'altra situazione: il giocatore che riceve la palla si è infortunato o è troppo lento, e ciò gli impedisce di controllare bene il passaggio che riceve dal compagno, tanto che la palla va a perdersi sul fondo e non c'è nessun goal. L'esito di entrambe le situazioni è lo stesso: il goal non c'è, ma le cause sottostanti all'insuccesso del tentativo sono molto differenti. In un caso manca il giocatore, mentre nell'altro il giocatore c'è, ma

quel che deve fare e può ancora ricevere i passaggi e calciare il pallone, semplicemente non è in grado di farlo con tutta la rapidità necessaria in una partita in cui le cose avvengono molto in fretta. Anche il linguaggio è un gioco fatto di eventi che si susseguono rapidamente, perciò qualunque deficit che compromette l'esecuzione in tempo reale dei normali processi può portare all'afasia. Possiamo indicare questo modello generale per spiegare il deficit di comprensione dell'afasia come *ipotesi del danno ai processi di elaborazione*.

Una domanda fondamentale, riguardo a questo modello, è: a quale punto dell'elaborazione linguistica si manifesta il danno? Sono state avanzate due ipotesi: una è che la comprensione degli afasici rifletta un'alterata dinamica dell'accesso lessicale; un'ipotesi alternativa è che l'accesso automatico al lessico sia in larga misura preservato e i problemi insorgano in una fase successiva, durante l'integrazione lessicale.

Tra gli esperimenti che hanno suggerito l'ipotesi del danno ai meccanismi dell'accesso lessicale vi sono stati vari studi sul priming. Alcune ricerche basate su compiti di decisione lessicale hanno trovato che nei pazienti affetti da afasia di Broca il priming semantico non si manifestava, mentre nei controlli normali e nei soggetti con afasia di Wernicke i tempi di reazione a una parola-target correlata con una parola-innesco (il *prime*) erano più veloci. Le prove a sostegno di quest'ipotesi non sono definitive, per due ragioni. In primo luogo, in altri studi il priming semantico è stato osservato anche nei pazienti affetti da afasia di Broca. In secondo luogo, per poter fare affermazioni sull'accesso automatico, l'intervallo di tempo fra la presentazione della parola-innesco e quella della parola-target (asincronia nella presentazione degli stimoli, o SOA, da *stimulus onset asynchrony*) deve essere molto breve (circa 200 ms). Nei soggetti normali e in test con lunghi intervalli SOA, l'innesco semantico non dipende solo dall'attivazione automatica del lessico, ma può includere anche processi postlessicali. A conferma di questo, studi su pazienti afasici in cui si sono usati lunghi intervalli SOA fra la presentazione della parola-innesco e del target non hanno evidenziato effetti di priming semantico; ma quando si sono usati SOA più brevi, il priming si è manifestato.

Ciò che emerge dal lavoro sperimentale è maggiormente compatibile con l'ipotesi che negli afasici sia alterata l'integrazione lessicale, piuttosto che l'accesso al lessico. I pazienti hanno difficoltà a integrare il significato delle parole nel contesto corrente, definito dalle parole che vengono prima nella frase; ovvero, queste persone non riescono a usare l'informazione contestuale per selezionare il significato di una parola con rapidità sufficiente perché possa avvenire la comprensione normale. Quindi, nella proposizione *The man planted a tree on the bank* [L'uomo piantò un albero sulla riva/banca], nelle condizioni normali il contesto ci dice che *bank* significa «riva di un fiume», e non «istituto bancario». È facile ren-

dersi conto dei problemi di comprensione che possono insorgere in caso di danno a questi processi, come accade nell'afasia (si veda la scheda «Afasia ed elettrofisiologia»).

## Neurofisiologia del linguaggio

Lo studio delle lesioni neuropsicologiche, di cui le ricerche sull'afasia e gli altri disturbi del linguaggio sono il prototipo, è soltanto uno dei possibili approcci per indagare le basi biologiche del linguaggio. In questo paragrafo passeremo brevemente in rassegna i dati emersi da studi di neurovisualizzazione funzionale che ancora non abbiamo presentato, da ricerche basate sulla stimolazione della corteccia umana nel corso di interventi neurochirurgici e da studi di registrazione di potenziali evocati dal linguaggio (ERP) sia in soggetti normali che in afasici. Questi metodi permettono di ottenere informazioni sul normale funzionamento del sistema del linguaggio, fornendo dati che possono anche non emergere quando si studia solo la prestazione di cervelli che hanno subito una lesione. Inoltre l'approccio neurofisiologico può fornire misure dell'attività cerebrale e dell'elaborazione funzionale in persone con disturbi del linguaggio che non è possibile inferire unicamente in base al comportamento o all'imaging anatomico.

## Neurovisualizzazione funzionale del linguaggio

Come abbiamo visto in paragrafi precedenti, la PET e la fMRI permettono di individuare le aree cerebrali che sono attive nel corso di specifici processi psicolinguistici, o di identificare le rappresentazioni linguistiche e concettuali in soggetti normali dal punto di vista neurologico (tutti volontari). Ma questi metodi possono essere usati anche passivamente, per studiare a riposo i correlati metabolici dei disturbi del linguaggio come l'afasia di Broca. Lo scopo è identificare l'estensione della lesione funzionale al di là della lesione strutturale, a cui sono soprattutto rivolte le ricerche di neuropsicologia. La degenerazione walleriana (anterograda) e la degenerazione retrograda dei neuroni sono conseguenze di un danno parziale a un neurone; ciò può portare a degenerazione transneuronale, nel caso di neuroni che proiettano alla regione lesionata o che ricevono input da essa. Ne consegue che i siti connessi a un'area lesionata possono anch'essi risentire effetti avversi, effetti che non è possibile cogliere col *brain imaging* strutturale consentito dalla TAC o dalla MRI, in quanto l'unica manifestazione può essere una diminuzione del metabolismo.

Il metodo della PET con <sup>18</sup>F-deossiglucosio misura il metabolismo neuronale usando analoghi del glucosio marcati radioattivamente, i quali vengono assorbiti dalle cellule attive per poi restare intrappolati al loro interno. Ciò permette di visualizzare la radioattività mediante

## GLI STRUMENTI DELLE NEUROSCIENZE COGNITIVE

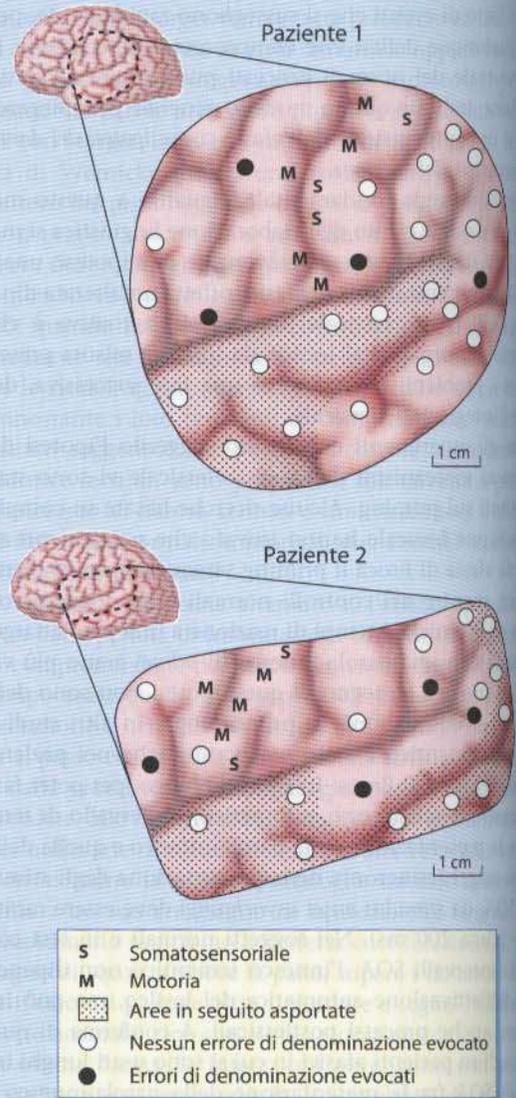
**Mappatura del cervello umano per stimolazione elettrica diretta**

La scena è degna della fantasia di Walt Disney o di Steven Spielberg. Su un tavolo giace il corpo di un giovane, coperto da linde lenzuola color verde chiaro. L'uomo è steso su un fianco ed è sveglio. La testa è parzialmente coperta da un telo, per cui, volendo, è possibile vederlo in viso. Dall'altra parte del telo vi è una donna, con indosso un camice e una mascherina da chirurgo. L'uomo è il paziente, la donna è il chirurgo che lo sta operando. Il cranio del giovane è stato scoperto, e l'emisfero sinistro messo a nudo. Sì, l'uomo è sveglio; no, non siamo in un altro tempo o in un altro luogo. Tutto sta accadendo qui e ora, alla Medical School della University of Washington, dove George Ojemann e i suoi collaboratori (1989) si servono della stimolazione corticale diretta e dei metodi di registrazione dell'attività cerebrale per mappare le aree del linguaggio.

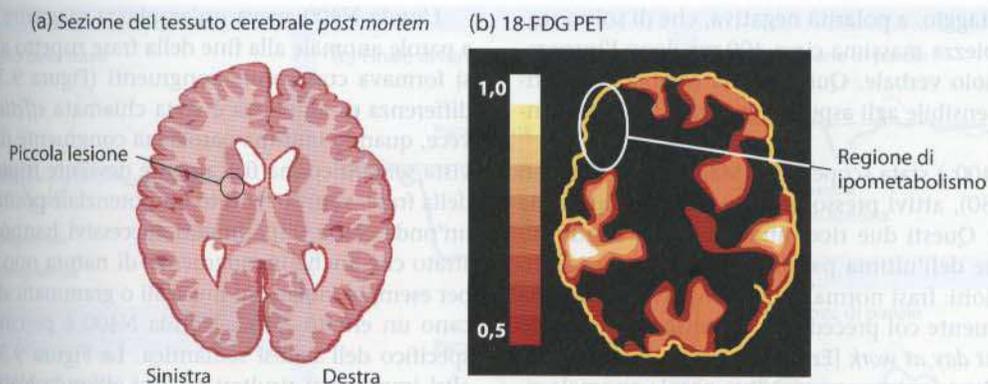
Il paziente soffre di epilessia e sta per essere sottoposto a un intervento chirurgico con cui gli sarà asportato il tessuto epilettogeno. Ma prima di cominciare l'operazione, poiché il focus epilettogeno si trova nell'emisfero sinistro (quello dominante nei processi del linguaggio), è necessario individuare l'esatta localizzazione di tali processi nel cervello del paziente. Ciò si ottiene mediante la mappatura con stimolazione elettrica diretta. Utilizzando degli elettrodi si fa passare nella corteccia una leggera corrente elettrica, che disorganizza temporaneamente l'attività cerebrale; quindi la stimolazione elettrica può fungere da sonda per identificare la sede di un certo processo linguistico. Perché la prova sia possibile, il paziente deve essere sveglio. Poiché le aree coinvolte nel linguaggio variano da persona a persona, la mappatura deve essere accurata. È essenziale che durante l'operazione le aree fondamentali per le funzioni linguistiche non vengano toccate.

Uno dei vantaggi di questa procedura è che ci fornisce molte informazioni sull'organizzazione del sistema del linguaggio umano. Ai pazienti vengono mostrati dei disegni di oggetti di uso comune, quindi si chiede loro di dirne il nome. Durante il compito di denominazione, si stimolano con impulsi elettrici di bassa intensità le regioni della corteccia sinistra perisilviana. Quando il paziente si rivela incapace di dire il nome dell'oggetto, o lo sbaglia, questo deficit viene messo in relazione con la regione sottoposta in quel momento a stimolazione; quindi si assume che quell'area corticale svolga un ruolo critico nella produzione e nella comprensione del linguaggio.

Questi test di stimolazione, che sono stati condotti su un numero di pazienti compreso fra 100 e 200, hanno rivelato che vari aspetti della rappresentazione cerebrale del linguaggio si organizzano in un mosaico di aree della grandezza di 1-2 cm<sup>2</sup> di superficie. Questi mosaici di solito coinvolgono regioni nelle aree frontali e in quelle temporali posteriori, ma in alcuni pazienti sono state trovate attive soltanto le aree frontali oppure quelle posteriori. La correlazione tra questi effetti nelle aree di Wernicke o di Broca era debole; in alcuni pazienti i disturbi della capacità di denominazione erano localizzati nelle classiche aree del linguaggio, in altri invece no. Forse il dato in assoluto più interessante è la grande variabilità delle localizzazioni anatomiche nei diversi pazienti, un fatto che ha importanti implicazioni sulla significatività dei risultati che si ottengono, per esempio negli studi PET, mediando i dati di attivazione dei diversi soggetti.



Le regioni del cervello di due pazienti a cui è stato applicato il metodo della mappatura per stimolazione corticale. Nel corso di un intervento chirurgico, con il paziente sveglio e sottoposto a una leggera anestesia, si mappano le aree motorie e somatosensoriali stimolando la corteccia e osservando le risposte del paziente. Dopo di che si mostrano ai pazienti delle immagini e si chiede loro di dirne il nome. Mentre sono impegnati in questo compito, si stimolano particolari regioni della loro corteccia per mezzo di una corrente elettrica. Quindi si procede a mappare le aree la cui stimolazione induce errori nel compito di denominazione, e si assume che tali regioni siano coinvolte nelle funzioni linguistiche. Il chirurgo si serve di questa mappatura per evitare di asportare una qualsiasi porzione di tessuto cerebrale coinvolto nelle funzioni del linguaggio. L'intervento chirurgico non solo funge da trattamento nei casi di tumori o di epilessia, ma è utile anche a chiarire l'organizzazione corticale delle funzioni linguistiche. Adattata da Ojemann et al. (1989).



**9.29** (a) Disegno delle lesioni e (b) scansione PET che mostra le regioni con metabolismo ridotto, in un paziente colpito da ictus cerebrale. Le regioni con riduzione dell'attività metabolica comprendono quelle danneggiate dallo *stroke* e in cui vi è stata una perdita di cellule. Le regioni connesse con queste aree vanno incontro a cambiamenti dell'attività, quindi anche a possibili alterazioni della funzionalità, senza essere direttamente danneggiate dall'ictus. Queste aree, che dal punto di vista funzionale devono essere considerate lesionate, possono contribuire ai deficit che si osservano nei pazienti; ciò rende difficile stabilire una correlazione struttura-funzione in base ai risultati della tomografia computerizzata o delle scansioni MRI, che rivelano soltanto le aree in cui si è verificato un danno fisico.

uno scanner PET. Il vantaggio di questa tecnica è che mette in evidenza effetti funzionali delle lesioni, che si estendono al di là della regione interessata dal danno strutturale.

### Correlati metabolici dell'afasia

Le ricerche sul metabolismo cerebrale a riposo hanno rivelato che gli effetti dell'afasia formano un quadro complesso. Le lesioni focali prodotte da ictus possono portare a cambiamenti metabolici diffusi; cioè gli effetti di uno *stroke* interessano anche regioni al di fuori dell'area lesionata (Figura 9.29). Cambiamenti metabolici a distanza si rilevano tipicamente nei soggetti vittime di ictus che presentano sintomi osservabili, ma non in quelli che non mostrano sintomi neurologici.

Nel 100% dei pazienti afasici analizzati, le misure ottenute con la PET a riposo rivelavano un ipometabolismo (una minore utilizzazione del glucosio) nella regione temporo-parietale, indipendentemente dal tipo di afasia. Di questi pazienti, il 97% presentava alterazioni metaboliche nel giro angolare, l'89% nel giro sovramarginale e l'87% evidenziava ipometabolismo nel GTS. Le regioni ipometaboliche individuate dalla PET furono poi confrontate con le lesioni definite tramite metodi anatomici. Da questi confronti è emerso che il 67% dei pazienti aveva lesioni parietali, il 67% danni nell'area di Wernicke e il 58% danni nella regione temporale posteriore mediana. Anche quando il danno anatomico non includeva i giri sovramarginale e angolare, queste aree cerebrali presentavano a riposo una riduzione del metabolismo neuronale. Il punto da cogliere, qui, è che correlare i deficit comportamentali dell'afasia solo con le lesioni anatomiche osservabili può non fornire un quadro completo, anzi può portare a errori.

Alcuni ricercatori sostengono che le correlazioni fra sintomi dell'afasia e metabolismo siano meglio definite

dalla PET che non dai dati anatomici relativi alla lesione. I soggetti affetti da afasia di Broca, con danno anatomico all'area di Broca e forse ai tessuti circostanti, presentano un marcato ipometabolismo della corteccia prefrontale. Questo effetto è ridotto nei pazienti con afasia di Wernicke e ancora più ridotto in quelli con afasia di conduzione – ma la metà di questi pazienti mostra ipometabolismo nelle aree di Broca.

Quindi la definizione su base anatomica delle strutture coinvolte nell'afasia può non cogliere i cambiamenti fisiologici del cervello che accompagnano la sindrome afasica. Questi risultati ricordano i limiti del metodo della correlazione anatomica nel determinare l'anatomia funzionale del linguaggio umano. L'unica cosa certa è che, nel cercare di definire l'organizzazione cerebrale del linguaggio, è necessario utilizzare i dati raccolti con una molteplicità di metodi.

## Elettrofisiologia del linguaggio

Nel Capitolo 4 abbiamo descritto il metodo dei potenziali evento-correlati, o ERP, e abbiamo detto che è possibile evocare questi potenziali in relazione a stimoli e a processi mentali differenti. Gli ERP possono essere usati anche per studiare il linguaggio umano, anzi sono un potente strumento per studiare la comprensione del linguaggio, per molti motivi. Per capirne il perché, passiamo ad analizzare alcune onde cerebrali, o componenti dell'ERP, che consentono di parametrare alcuni aspetti dell'elaborazione semantica e sintattica nella comprensione del linguaggio.

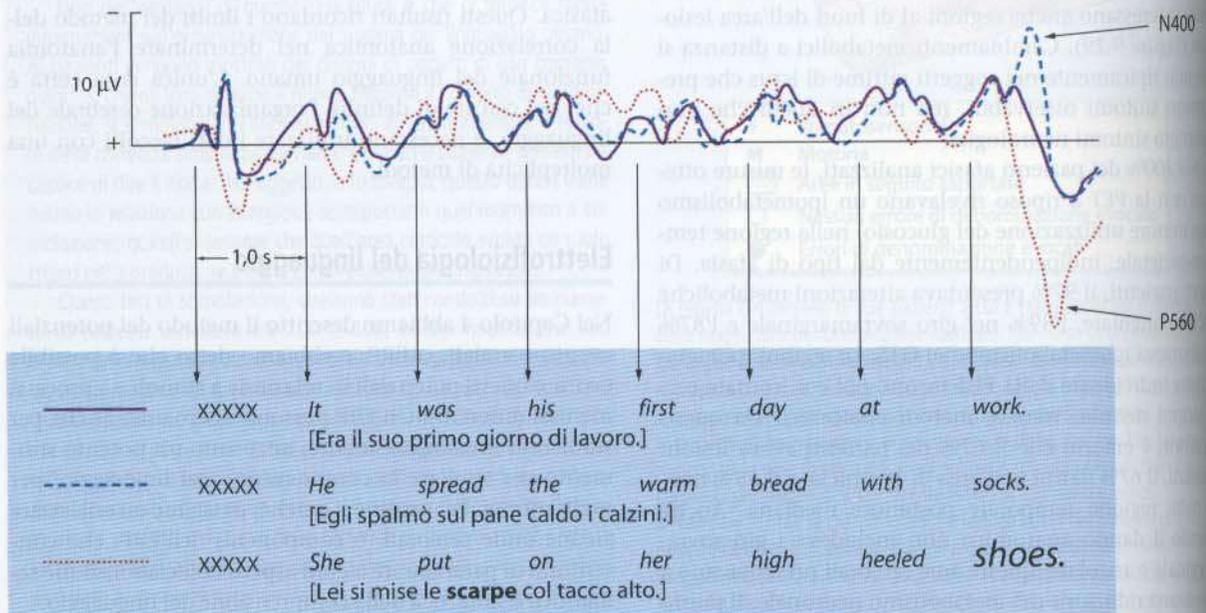
### Elaborazione semantica e onda N400

L'onda N400 è un'onda cerebrale correlata ai processi linguistici. È stata chiamata N400 in quanto si tratta di un

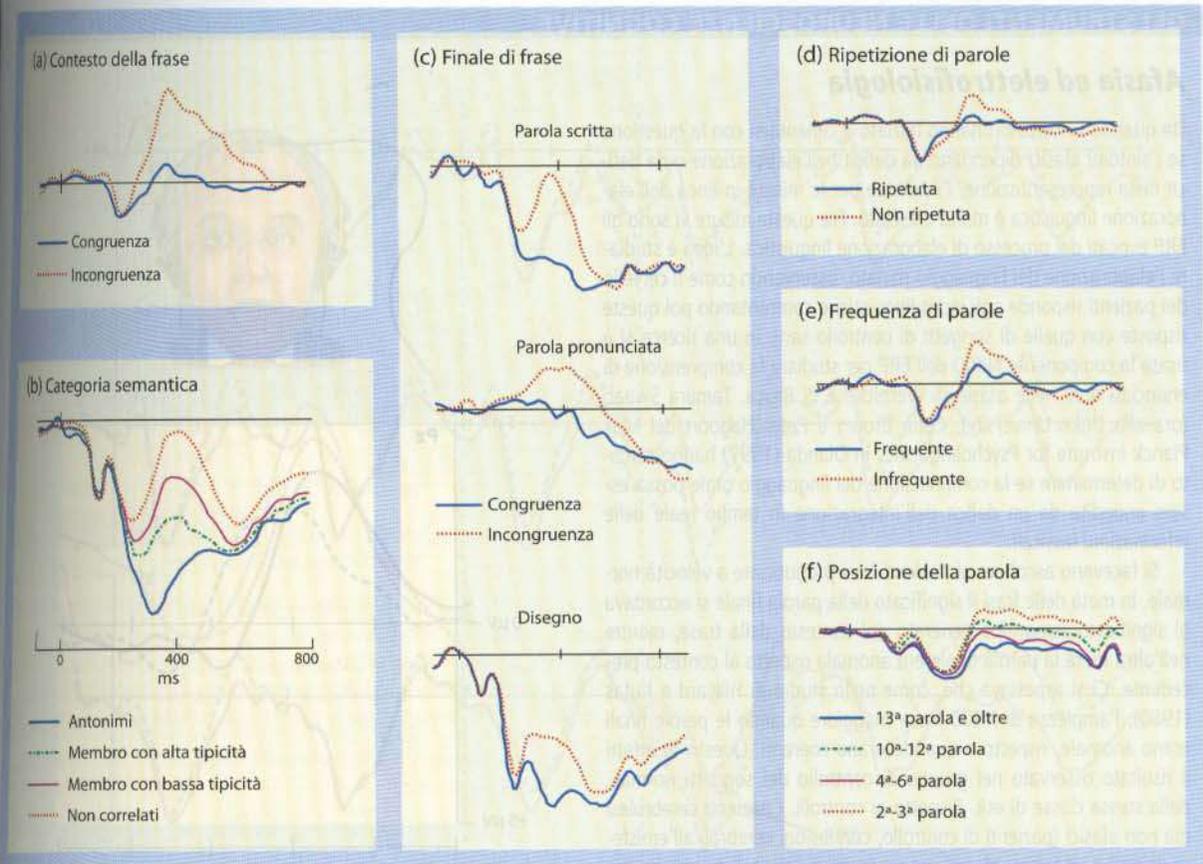
picco del voltaggio, a polarità negativa, che di solito raggiunge l'ampiezza massima circa 400 ms dopo l'insorgere dello stimolo verbale. Questa onda cerebrale è particolarmente sensibile agli aspetti semantici dell'input linguistico.

L'onda N400 è stata scoperta da Marta Kutas e Steven Hillyard (1980), attivi presso la University of California a San Diego. Questi due ricercatori misero a confronto l'elaborazione dell'ultima parola di una frase in tre diverse condizioni: frasi normali che terminavano con una parola congruente col precedente contesto, per esempio *It was his first day at work* [Era il suo primo giorno di lavoro]; frasi che terminavano con una parola anomala rispetto al contesto precedente, per esempio *He spread the warm bread with socks* [Spalmò sul pane caldo i calzini]; e frasi che terminavano con una parola congruente al contesto dal punto di vista semantico, ma fisicamente deviante (cioè scritta in lettere più grandi, in caratteri diversi, ecc.), per esempio *She put on her high-heeled shoes* [Ella si mise le scarpe col tacco alto]. Le frasi venivano presentate sullo schermo di un computer, una parola per volta; i soggetti dovevano leggerle con attenzione, sapendo che al termine dell'esperimento avrebbero dovuto rispondere a domande sulle proposizioni che avevano letto. Per ciascuna delle diverse condizioni si procedette poi a estrarre una media (*averaging*) dei tracciati elettroencefalografici (EEG), quindi si ottennero gli ERP mediando i dati relativi all'ultima parola in ciascuna condizione, separatamente.

L'onda N400 aveva un'ampiezza maggiore in risposta a parole anomale alla fine della frase rispetto all'onda che si formava con parole congruenti (Figura 9.30). Questa differenza di ampiezza è stata chiamata *effetto N400*. Invece, quando l'ultima parola era congruente dal punto di vista semantico ma fisicamente deviante rispetto al resto della frase, veniva evocato un potenziale positivo anziché un'onda N400. Esperimenti successivi hanno poi dimostrato che anche incongruenze di natura non semantica, per esempio violazioni musicali o grammaticali, non evocano un effetto N400. L'onda N400 è perciò un effetto specifico dell'analisi semantica. La Figura 9.31 riassume altri importanti risultati relativi all'onda N400. Come si può vedere, l'ampiezza di N400 può variare in funzione di molti tipi diversi di manipolazione, tra cui le relazioni semantiche fra le parole, la ripetizione di parole, la loro frequenza e la posizione nella frase. Inoltre la figura mostra che gli effetti N400 sono indipendenti dalla modalità dell'input sensoriale: si verificano quando i soggetti leggono le frasi; quando ai soggetti si presentano input uditivi, per esempio frasi in lingua inglese, olandese, francese e giapponese (per parlanti ognuna di queste lingue); e anche quando si presenta a soggetti sordi dalla nascita il linguaggio americano dei segni (caso non rappresentato nella figura). Per quanto riguarda gli aspetti linguistico-neurali dell'elaborazione, l'onda N400 riflette soprattutto i processi postlessicali coinvolti nell'integrazione lessicale. Quindi si avrà un effetto N400 quando l'integrazione lessicale è ostacolata dalla mancanza di accordo fra le



**9.30** Gli ERP sono composti da onde diverse, quando sono evocati da una parola in chiusura di frase coerente con il contesto che la precede (*lavorò*) e quando invece tale parola è anomala rispetto al contesto (*calzini*). Le parole anomale evocano nell'ERP una grande onda negativa (qui diretta verso l'alto), chiamata N400. Le parole finali coerenti col contesto dal punto di vista semantico ma non fisico (perché stampate in caratteri diversi, per esempio *shoes* [scarpe]) evocano un'onda positiva (P560) e non l'onda N400. Ciò indica che la genesi di N400 non dipende dalla semplice anomalia della parola che chiude la frase. Adattata da Kutas e Hillyard (1980).



**9.31** L'onda N400 che si forma in risposta a varie manipolazioni del linguaggio. N400 è modulata in funzione di: la congruenza della parola con il contesto (a), il grado di relazione semantica fra parole (b), la ripetizione delle parole (d), la frequenza delle parole (e) e la posizione di una parola nella frase (f). Questi effetti sono indipendenti dalla modalità sensoriale (c). Da Kutas e Federmeier (2000).

specificazioni semantiche di una parola e quelle della parola che la precede, o fra quella parola e il contesto della frase.

### Elaborazione sintattica e potenziali evento-correlati

Benché il lavoro sull'effetto N400 abbia avuto inizio nei primi anni '80, è solo nell'ultima decina d'anni che i ricercatori hanno incominciato a studiare i correlati elettrofisiologici di altri aspetti dell'analisi linguistica, per esempio della sintassi. Una delle componenti ERP identificate è stata chiamata P600 (in base alla sua polarità e alla latenza dall'insorgere dello stimolo) o anche spostamento positivo sintattico (SPS, da *syntactic positive shift*, a causa della sua presunta sensibilità ai processi sintattici). D'ora in poi indicheremo questa componente dell'ERP come P600/SPS. P600/SPS è una grande onda positiva evocata da parole che contengono una violazione sintattica. Questa componente è stata scoperta da Lee Osterhout e Phil Holcomb negli Stati Uniti (1992) e dagli psicologi olandesi Peter Hagoort, Colin Brown e collaboratori (1993) al Max Planck Institute for Psycholinguistics. Per illustrare la sensibilità di P600/SPS alle violazioni sin-

tattiche, ci concentreremo qui su uno studio in cui Hagoort e Brown chiesero ai soggetti di leggere in silenzio frasi che venivano presentate, una parola per volta, sul monitor di un computer. Quindi si procedette a confrontare le risposte cerebrali alle frasi normali e alle frasi che contenevano una violazione grammaticale. I risultati sono illustrati nella Figura 9.32. Come si può vedere nella figura, c'è un grande spostamento positivo (SPS) in risposta a una violazione sintattica nella frase e tale effetto insorge circa 600 ms dopo la parola che contiene la violazione (nell'esempio è *throw*). L'onda P600/SPS appare in risposta a un gran numero di violazioni sintattiche di altro tipo, e si verifica sia quando i soggetti devono leggere le frasi sia quando le sentono pronunciare. Come per l'onda N400, l'esistenza di P600/SPS è già stata accertata in molte lingue.

Ma P600/SPS è sensibile anche ad altri tipi di violazioni, non solo a quelle sintattiche. Le ricerche hanno rivelato che P600/SPS si forma anche quando i soggetti leggono frasi sintatticamente corrette ma ingannevoli. Come forse si ricorderà dal paragrafo dedicato all'elaborazione sintattica, sono dette frasi ingannevoli (*garden-path*) quelle che dopo una prima, errata, assegnazione

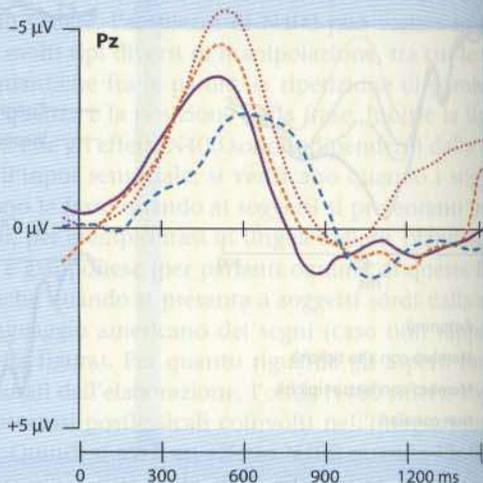
## GLI STRUMENTI DELLE NEUROSCIENZE COGNITIVE

**Afasia ed elettrofisiologia**

Da quando i ricercatori hanno iniziato a cimentarsi con la questione se i sintomi afasici dipendano da deficit nell'elaborazione o da deficit nella rappresentazione, l'interesse per le misure in-linea dell'elaborazione linguistica è molto cresciuto. Fra queste misure vi sono gli ERP evocati dal processo di elaborazione linguistica. L'idea è studiare l'elaborazione del linguaggio parlato, osservando come il cervello dei pazienti risponde agli input linguistici e confrontando poi queste risposte con quelle di soggetti di controllo sani. In una ricerca si è usata la componente N400 dell'ERP per studiare la comprensione di enunciati orali nelle afasie di Wernicke e di Broca. Tamara Swaab (ora alla Duke University), Colin Brown e Peter Hagoort del Max Planck Institute for Psycholinguistics in Olanda (1997) hanno cercato di determinare se la comprensione del linguaggio orale possa essere impedita da un deficit dell'integrazione in tempo reale delle informazioni lessicali.

Si facevano ascoltare ai pazienti frasi pronunciate a velocità normale. In metà delle frasi il significato della parola finale si accordava al significato semantico generato dal contesto della frase, mentre nell'altra metà la parola finale era anomala rispetto al contesto precedente. Ci si aspettava che, come nello studio di Hillyard e Kutas (1980), l'ampiezza di N400 fosse maggiore quando le parole finali erano anomale, rispetto a quando erano coerenti. Questo fu infatti il risultato osservato nel gruppo di controllo dei soggetti normali, della stessa classe di età. Rispetto ai controlli, i pazienti cerebrolesi ma non afasici (pazienti di controllo, con lesioni cerebrali all'emisfero destro) e i pazienti afasici con un leggero deficit di comprensione (soggetti con alto grado di comprensione) mostravano un effetto N400 paragonabile a quello dei soggetti senza danni neurologici. Negli afasici con un deficit di comprensione tra il moderato e il grave (soggetti con basso grado di comprensione), l'effetto N400 era ridotto e ritardato.

I risultati sono compatibili con l'ipotesi che gli afasici con problemi di comprensione tra il moderato e il grave abbiano una ridotta capacità di integrare le informazioni lessicali in una rappresentazione d'ordine superiore del contesto della frase, dal momento che la componente N400 è un indice del processo di integrazione lessicale. L'inclusione delle registrazioni elettriche negli studi di pazienti neurologici con deficit comportamentali come l'afasia permette agli scienziati di seguire l'elaborazione delle informazioni in tempo reale, proprio mentre il processo ha luogo nel cervello. A ciò si può abbinare un'analisi con metodi tradizionali, come, per esempio, le misure dei tempi di reazione nei compiti di decisione lessicale. Ma, cosa molto importante, gli ERP forniscono anche misure dell'elaborazione nei pazienti i cui deficit neurocomportamentali sono troppo gravi perché possano bastare le misure del comportamento, dato che il loro livello di comprensione è così basso che non riescono a capire le istruzioni del compito.

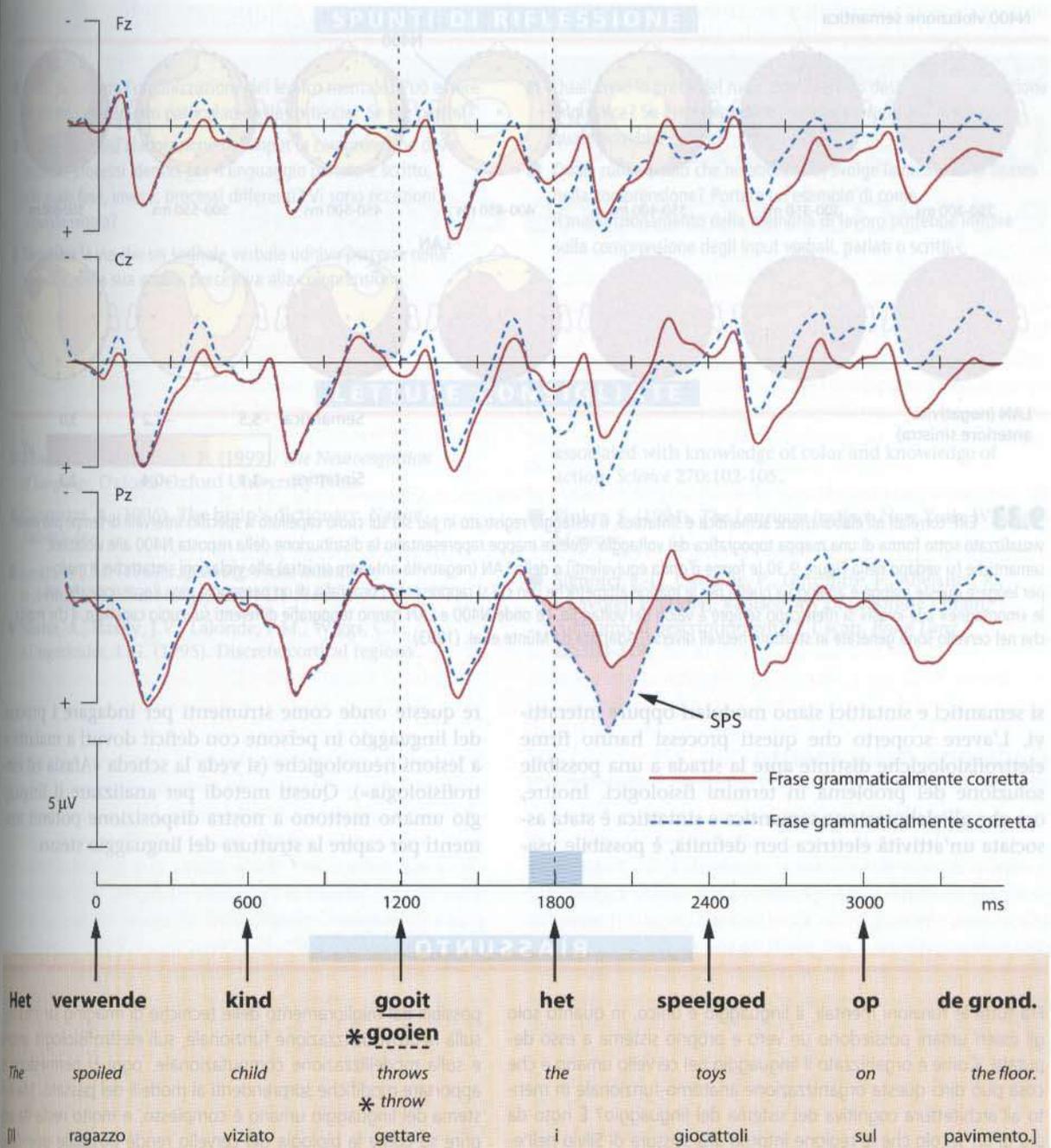


- ..... Controlli normali (N = 12)
- Soggetti ad alto grado di comprensione (N = 7)
- . - . - . Soggetti a basso grado di comprensione (N = 7)
- Lesioni all'emisfero destro (N = 6)

L'effetto N400 in risposta a parole anomale alla fine di una frase, in gruppi differenti di pazienti e in controlli sani. La registrazione proviene da un singolo elettrodo localizzato sopra le regioni centroparietali del cuoio capelluto in soggetti di controllo anziani e sani, in afasici con alto grado di comprensione, in afasici con basso grado di comprensione e in pazienti con lesioni all'emisfero destro (pazienti di controllo). La forma d'onda relativa ai soggetti con bassi livelli di comprensione mostra chiaramente un ritardo e una leggera riduzione rispetto agli altri gruppi. Nei soggetti di controllo normali, in quelli a elevata comprensione e nei pazienti con lesioni all'emisfero destro le onde hanno grandezze equiparabili e non differiscono nella latenza. Questo pattern implica un ritardo nell'elaborazione del linguaggio nei pazienti con un basso grado di comprensione. Adattata da Swaab et al. (1997).

strutturale richiedono una revisione (per vederne un esempio, si torni al paragrafo «Integrazione delle parole in frasi»). Studi recenti hanno dimostrato che P600/SPS è sensibile a questo processo di revisione.

L'elaborazione sintattica è riflessa anche da altre onde cerebrali. Il neurologo Thomas Münte e collaboratori (1993), e in Germania la psicolinguista Angela Friederici e collaboratori (1993), hanno descritto un'on-



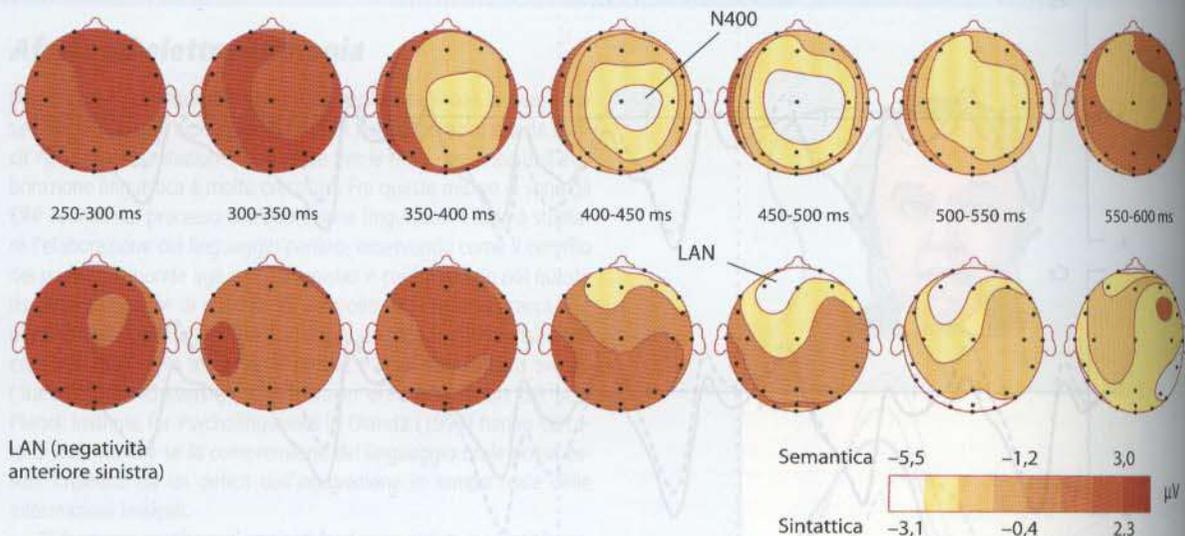
**9.32** Gli ERP, registrati sul cuoio capelluto in un sito frontale (Fz), uno centrale (Cz) e uno parietale (Pz), evocati da ogni parola di frasi sintatticamente scorrette (forme d'onda tratteggiate) in confronto a frasi sintatticamente corrette (forme d'onda continue). Quando la frase viola la sintassi, nella forma d'onda dell'ERP emerge uno spostamento positivo circa 600 ms dopo la violazione (ombreggiatura), detto spostamento positivo sintattico (SPS, da *syntactic positive shift*). Adattata da Hagoort et al. (1993).

da negativa sopra le aree frontali di sinistra. Quest'onda cerebrale, chiamata *left anterior negativity* (LAN, negatività anteriore sinistra), è stata osservata quando le parole violano la categoria richiesta dalla frase (come accade, per esempio, nella frase *The red eats* [Il rosso mangia], dove sarebbe necessario un lemma nominale anziché verbale), o quando sono violati i requisiti

morfosintattici (come, per esempio, in *he mow* [egli falciare]). La LAN ha all'incirca la stessa latenza di N400, ma differisce per la distribuzione del voltaggio sul cuoio capelluto; tale differenza nella distribuzione è illustrata nella Figura 9.33.

Una questione su cui per lungo tempo si è concentrata l'attenzione degli psicolinguisti è stabilire se i proces-

## N400 violazione semantica



## 9.33

ERP correlati all'elaborazione semantica e sintattica. Il voltaggio registrato in più siti sul cuoio capelluto a specifici intervalli di tempo può essere visualizzato sotto forma di una mappa topografica del voltaggio. Queste mappe rappresentano la distribuzione della risposta N400 alle violazioni semantiche (si vedano nella Figura 9.30 le forme d'onda equivalenti) e della LAN (negatività anteriore sinistra) alle violazioni sintattiche. Il modo per leggere queste mappe è analogo a quello per le mappe altimetriche con cui si rappresenta l'orografia di un paesaggio, con l'eccezione che qui le «montagne» e le «valli» si riferiscono sempre a valori del voltaggio. Le onde N400 e LAN hanno topografie differenti sul cuoio capelluto, il che implica che nel cervello sono generate in strutture neurali diverse. Adattata da Münte et al. (1993).

si semantici e sintattici siano modulari oppure interattivi. L'aver scoperto che questi processi hanno firme elettrofisiologiche distinte apre la strada a una possibile soluzione del problema in termini fisiologici. Inoltre, ora che all'elaborazione semantica e sintattica è stata associata un'attività elettrica ben definita, è possibile usa-

re queste onde come strumenti per indagare i processi del linguaggio in persone con deficit dovuti a malattie o a lesioni neurologiche (si veda la scheda «Afasia ed elettrofisiologia»). Questi metodi per analizzare il linguaggio umano mettono a nostra disposizione potenti strumenti per capire la struttura del linguaggio stesso.

## RIASSUNTO

Fra tutte le funzioni mentali, il linguaggio è unico, in quanto solo gli esseri umani possiedono un vero e proprio sistema a esso deputato. Come è organizzato il linguaggio nel cervello umano e che cosa può dirci questa organizzazione anatomico-funzionale in merito all'architettura cognitiva del sistema del linguaggio? È noto da più di un secolo che la regione intorno alla scissura di Silvio nell'emisfero sinistro, quello dominante, prende parte ai processi della comprensione e della produzione del linguaggio. Tuttavia i modelli classici sono insufficienti per comprendere le funzioni computazionali da cui il linguaggio dipende. Formulazioni più recenti, basate su analisi dettagliate degli effetti delle lesioni neurologiche (rese

possibili dal miglioramento delle tecniche di imaging strutturale, sulla neurovisualizzazione funzionale, sull'elettrofisiologia umana e sulla modellizzazione computazionale, oggi ci permettono di apportare modifiche sorprendenti ai modelli del passato. Ma il sistema del linguaggio umano è complesso, e molto resta da scoprire su come la biologia del cervello renda possibile quei fenomeni di ricca produzione e di comprensione del discorso che caratterizzano la nostra vita quotidiana. La ricerca sul linguaggio ha un futuro molto promettente, poiché i modelli psicolinguistici possono integrarsi sempre più con le neuroscienze per chiarire il codice neurale di questa facoltà mentale unicamente umana.

## PAROLE CHIAVE

Accesso lessicale  
Afasia  
Afasia di Broca

Afasia di conduzione  
Afasia di Wernicke  
Agrammatismo

Analisi grammaticale  
Aprassia  
Fascicolo arcuato

Lessico mentale  
Parafasia semantica  
Selezione lessicale

## SPUNTI DI RIFLESSIONE

- Quale può essere l'organizzazione del lessico mentale? Può essere localizzato in un punto particolare della corteccia? Se no, perché?
- In quale fase dell'elaborazione dell'input la comprensione deve implicare processi identici per il linguaggio parlato e scritto, e in quale fase, invece, processi differenti? Vi sono eccezioni a questa regola?
- Descrivere la via che un segnale verbale uditivo percorre nella corteccia, dalla sua analisi percettiva alla comprensione.
- Quali sono le prove del ruolo dell'emisfero destro nell'elaborazione linguistica? Se l'emisfero destro svolge un ruolo nel linguaggio, quale potrebbe essere?
- Quale ruolo, posto che ne abbia uno, svolge la memoria di lavoro nella comprensione? Portare un esempio di come il malfunzionamento della memoria di lavoro potrebbe influire sulla comprensione degli input verbali, parlati o scritti.

## LETTURE CONSIGLIATE

- Brown, C.M., e Hagoort, P. (1999). *The Neurocognition of Language*. Oxford: Oxford University Press.
- Caramazza, A. (1996). The brain's dictionary. *Nature* 380:485-486.
- Levelt, W.J.M. (1989). *Speaking: From Intention to Articulation*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Martin, A., Haxby, J.V., Lalonde, F.M., Wiggs, C.L., e Ungerleider, L.G. (1995). Discrete cortical regions associated with knowledge of color and knowledge of action. *Science* 270:102-105.
- Pinker, S. (1994). *The Language Instinct*. New York: William Morrow.
- Signoret, J.-L., Castaine, P., Lehrmitte, F., Abelanet, R., e Lavorel, P. (1984). Rediscovery of Leborgne's brain: Anatomical description with CT scan. *Brain Lang.* 22:303-319.

## Divisione della mente