

NATURALMENTE

Fatti e trame delle Scienze

anno 25 • numero 2 • maggio 2012

trimestrale

L'opera elettrofisiologica di Carlo Matteucci

Giuseppe Moruzzi

Scienza, ricerca scientifica, bioetica

Maria Bellucci

I percorsi della scienza nel XXI secolo

Luciano Cozzi

La candela

Elio Fabri

Gazebo Le sequoie?...sono alte!

Fabrizia Gianni

L'apertura del biologico

Stefania Consigliere

I geni e la grammatica

Anna M. Rossi

Come é fatto l'animale prosciutto?

Laura Landini

Risorse in rete

Aldo T. Marrocco

Del Colore e dei Colori

Matilde Stefanini

Il verziere di Melusina

Laura Sbrana

Recensioni

Il Tornalibro

L'ipocrisia della privacy

Vincenzo Terreni

Più che affamata, ghiotta

Franca Cosci, Vincenzo Terreni



ETS

NATURALMENTE

anno 25 • numero 2 • maggio 2012 trimestrale

Spedizione: Poste Italiane SpA - Spedizione in abbonamento postale - D. L. 353/2003 (conv. in L. 27/02/2004 n. 46) art. 1, comma 1, CB PISA

Iscrizione al ROC numero 16383

Direttore responsabile: Luciano Luciani

Segretario di redazione: Enrico Pappalettere (e.pappalettere@alice.it) 3487934426

Redazione: Sandra Bocelli, Francesca Civile, Brunella Danesi, Fabio Fantini, Fabrizia Gianni, Vincenzo Terreni, Isabella Marni

Impaginazione: Vincenzo Terreni (terreni@naturalmentescienza.it)

Edizione e stampa: ETS Piazza Carrara, 16-19 PISA - tel. 050 29544 - fax 050 20158

Proprietà: ANISN - Pisa c/o Museo di Storia naturale e del Territorio, Via Roma, 79 - 56011 Calci (Pi)

Abbonamenti:

Conto Corrente Postale n. 14721567

Banca Intesa - San Paolo

IBAN: IT 95 T 0306914020013958150114

Cassa Risparmio di Lucca, Pisa e Livorno

IBAN: IT 96 A 0620014011000000359148

Ordinario 20,00 euro; ordinario e CD tutto Naturalmente 30,00 euro; ordinario e tutto Naturalmente pdf 25,00 euro; sostenitore 35,00 euro; Scuole, Associazioni, Musei, Enti ecc. 27,00 euro; biennale 36,00 euro; estero 40,00 euro; singolo numero 8,00 euro; numeri arretrati 12,00 euro; copie saggio su richiesta.

Registrato il 25/02/1989 presso il Tribunale di Pisa al n. 6/89

Informazioni: www.naturalmentescienza.it

050/571060-7213020; fax: 06/233238204

Un ringraziamento particolare alle case editrici

ZANICHELLI e BOVOLENTA

per l'aiuto alla realizzazione di questo numero

Collaboratori

Maria Arcà Centro studi Ac. Nucleici CNR Roma

Maria Bellucci doc. St. Fil. Prato

Claudia Binelli doc. Sc. Nat. Torino

Marcello Buiatti doc. Genetica Università di Firenze

Luciana Bussotti doc. Sc. Nat. Livorno

Stefania Consigliere dip. Antropologia Università di Genova

Luciano Cozzi doc. Sc. Nat. Milano

Tomaso Di Fraia dip. Archeologia Università di Pisa

Elio Fabri doc. Astronomia Università di Pisa

Tiziano Gorini doc. Lettere Livorno

Alessandra Magistrelli doc. Sc. Nat. Roma

Pieggiacomo Pagano ENEA Bologna

Marco Piccolino doc. Fisiologia e Storia della Scienza
Università di Ferrara

Giorgio Porrotto cultore di politica scolastica Roma

Laura Sbrana doc. Lettere Pisa

Marco Tongiorgi doc. Stratigrafia Università di Pisa

Maria Turchetto Dipartimento Filosofia e Beni culturali

Università *Ca' Foscari* di Venezia

Hanno collaborato a questo numero

1. L'opera elettrofisiologica di Carlo Matteucci (seconda parte) La scoperta delle correnti di demarcazione del muscolo

Giuseppe Moruzzi

9. Scienza, ricerca scientifica, bioetica Un punto di vista ebraico

A cura di Maria Bellucci

18. I percorsi della scienza nel XXI secolo Il 2008 (parte nona)

Luciano Cozzi

23. La candela

Elio Fabri

26. Gazebo Le sequoie?...sono alte! (quinta parte)

Fabrizia Gianni

35. L'apertura del biologico La costruzione di un umano (seconda parte)

Stefania Consigliere

45. I geni e la grammatica

Anna M. Rossi doc. Genetica e Genetica umana Università di Pisa

53. Come é fatto l'animale prosciutto? Breve storia di un'esperienza didattica

Laura Landini Museo Anatomico Veterinario Università di Pisa

56. Risorse in rete Unità didattiche sulla gestione dei rifiuti e sul Design for Recycling

Aldo T. Marrocco doc. Scuola Secondaria Pisa

59. Del Colore e dei Colori I Gialli 2 (parte nona)

Matilde Stefanini Storica dell'Arte Pisa

64. Il verziere di Melusina Il geranio

Laura Sbrana

66. Recensioni

Joachin Langhenek

67. Segnalazioni

Luciana Bussotti

68. Il Tornalibro

Brunella Danesi

70. L'ipocrisia della privacy

Vincenzo Terreni

72. Più che affamata, ghiotta

Franca Cosci, Vincenzo Terreni

Degli articoli firmati sono responsabili gli Autori

Fonti delle illustrazioni

F. La Pena, C. Bates, S. P. Medley *Legends of the Yosemite Mimos* Illustrated by Harry Fonseca, Heyday Books-Yosemite Association 2007- Berkeley, California

I geni e la grammatica

ANNA M ROSSI

La disputa *nature versus nurture*, come fu definita da Francis Galton già nel 1874, ha attraversato la storia delle scienze biomediche e delle scienze umane con alterne vicende, talora privilegiando le prove di un'organizzazione della mente geneticamente preordinata, che pertanto sarebbe innata (innatismo), talaltra mettendo in risalto l'imprescindibile ruolo dell'esperienza e dell'apprendimento nel modellare le abilità intellettuali e i comportamenti complessi (costruttivismo). Ad oltre cent'anni di distanza la controversia dovrebbe apparire superata, giacché dovrebbe essere ormai indubitabile che, nel campo delle facoltà cognitive, come per altri aspetti dello sviluppo, l'azione dei geni si integra in modo indissolubile con gli effetti dell'ambiente. D'altra parte, sembra molto solida la teoria che le competenze individuali si sviluppano a partire da un repertorio generale di abilità potenziali, basate su un substrato anatomico ancora parzialmente specializzato, sul quale si innestano funzioni molto sofisticate e complesse il cui fulcro è incentrato sull'esperienza personale e collettiva.

Anche per quanto riguarda il linguaggio, la diatriba assume spesso toni accesi e le posizioni vengono a volte eccessivamente radicalizzate: da una parte i sostenitori di una costruzione graduale di una competenza linguistica che si matura progressivamente in funzione dell'esperienza, dall'altra scienziati che postulano che una competenza linguistica innata esista prima di qualsiasi esperienza, facendo rivivere miti delle "idee innate" ritenuti da tempo superati (1).

A corollario della questione se il linguaggio sia una facoltà innata o un'abilità appresa, si pongono molte altre domande, del tipo:

- Come, quando e perché l'uomo avrebbe sviluppato un linguaggio così sofisticato?
- Quale vantaggio evolutivo e quindi quale spinta selettiva potrebbero aver agito a favore dei soggetti in grado di comunicare verbalmente, a scapito degli omi-nidi precedenti?
- Le lingue attuali derivano da una comune lingua originaria (ipotesi monogenetica) oppure da diversi ceppi primordiali (ipotesi poligenetica)?

Inoltre l'intero problema si colloca in quello più generale della teoria della mente e dei processi di apprendimento. Nonostante il notevole interesse, non ci dilungheremo su questi aspetti per mancanza di tempo. Il linguaggio non è una prerogativa esclusiva dell'uomo, altri animali sono capaci di comunicare mediante linguaggi non verbali o anche con suoni, talvolta modulati con differenze apprezzabili, ma senza l'articolazione che è caratteristica specifica del linguaggio umano.

Le espressioni e i versi che gli animali utilizzano manifestano infatti una serie di esigenze (fame, pericolo, etc.) e, almeno in apparenza, ad ogni espressione corrisponde un determinato messaggio. Il linguaggio umano, invece, è assai articolato; anzi, secondo il linguista André Martinet, è doppiamente articolato.

La *prima articolazione* è il modo in cui il messaggio si compone a partire da una serie di unità dotate ciascuna di una forma vocale e di un senso: si tratta delle parole, ciascuna delle quali ha un significato a sé stante, frutto di un'associazione arbitraria e convenzionale tra un suono e un significato. Le medesime parole, però, inserite in contesti diversi (o anche ordinate in costrutti sintattici diversi) possono acquisire un senso diverso, per cui con un numero finito di elementi lessicali ogni lingua può realizzare un numero potenzialmente illimitato di comunicazioni verbali e formulare concetti astratti anche senza avere a disposizione termini specifici.

La *seconda articolazione* è quella che permette che "le lingue possano accontentarsi di qualche decina di produzioni foniche distinte che vengono combinate per ottenere la forma vocale delle unità di prima articolazione" (2). Si tratta dei *fonemi*, unità foniche distintive di ciascuna lingua, di per sé prive di significato e in numero limitato che, combinandosi tra loro, formano le unità di prima articolazione, dotate di significato, di qui le parole e quindi le frasi, per mezzo delle quali si può dire qualsiasi cosa, parlare di qualsiasi argomento e ogni significato può essere espresso in molti modi diversi.

È proprio la "doppia articolazione" un tratto che caratterizza tutte le lingue, indipendentemente dai loro diversi repertori verbali, dalla loro specifica organizzazione e dai fonemi utilizzate da ciascuna.

Il substrato neurobiologico del linguaggio

La comunicazione verbale implica in entrata l'*acquisizione, elaborazione ed interpretazione* di informazioni che vengono dagli organi di senso, in particolare a livello uditivo e visivo, e in uscita l'*articolazione* in senso fisiologico, cioè la coordinazione dei muscoli del tratto oro-facciale e del collo con gli organi della fonazione, in particolare la laringe, per esprimersi verbalmente, e del braccio e della mano per trasmettere in forma scritta il proprio pensiero (3).

Lo studio delle aree cerebrali che controllano il linguaggio è stato inizialmente basato sull'osservazione di pazienti con particolari lesioni che compromettevano aspetti distinti della competenza linguistica.

Nel 1861 Pierre Paul Broca presentò il caso di un paziente che dopo un ictus aveva perso completamente

la capacità di parlare. Il paziente poteva ancora comprendere il linguaggio ed era consapevole di non riuscire ad esprimersi se non con una sola sillaba, "tan". Dopo la sua morte, Broca eseguì l'autopsia del paziente e individuò il sito della lesione, una specifica area dell'emisfero sinistro, detta area di Broca, che controlla la pianificazione e l'esecuzione dei movimenti necessari per articolare la parola. Qualche anno dopo, una seconda scoperta, per merito di Carl Wernicke, rivelava che un'altra zona, detta area di Wernicke, è deputata alla comprensione del linguaggio. Questa zona, adiacente alla corteccia uditiva dell'emisfero sinistro, era compromessa in pazienti che non riuscivano a capire la lingua parlata (o scritta), che però erano inconsapevoli del loro difetto e si esprimevano con un eloquio fluente e spedito, sebbene incomprensibile, fatto di frasi incoerenti e parole prive di senso.

Sulla base delle osservazioni di Broca e di Wernicke venne elaborato il modello di Wernicke-Geschwind che, sebbene sia oggi superato, ha avuto un notevole valore euristico: secondo questo modello, l'area di Wernicke sarebbe un centro di elaborazione/smistamento dell'informazione sensoriale proveniente dalla corteccia uditiva primaria (o visiva primaria), che sarebbe qui trasformata in una rappresentazione fonetica per il riconoscimento fonetico e semantico. Per pronunciare delle parole, il segnale inviato dall'area di Wernicke sarebbe trasferito all'area di Broca dove sarebbe elaborata la struttura grammaticale di una frase che, per essere pronunciata, deve essere trasmessa all'area della corteccia motoria che controlla l'articolazione della lingua e della bocca.

Intorno agli anni '30, Wilder G. Penfield e i suoi collaboratori condussero degli esperimenti elettrofisiologici (stimolazione con elettrodi di diverse aree del cervello) su pazienti epilettici, prima dell'intervento volto alla distruzione dei neuroni da cui si originavano le scariche epilettogene. Così misero in evidenza per la prima volta la lateralizzazione delle funzioni degli emisferi cerebrali e ricostruirono una mappa delle zone implicate nelle funzioni cognitive, motorie e sensoriali, detta mappa neuroanatomica di Penfield, che costituisce la prima rappresentazione *somatotopica*, ovvero delle varie parti del corpo, sulla corteccia motoria primaria e sulla corteccia sensoriale primaria.

Oggi ci si avvale di tecniche di *neuroimaging*, come la TAC (Tomografia Assiale Computerizzata), la PET (Tomografia ad emissione di positroni) e la RMN (Risonanza magnetica nucleare) che consentono di ricostruire un modello tridimensionale dell'oggetto esaminato. Si possono analizzare sia la struttura neuroanatomica (analisi statica) sia la relazione tra questa e l'attività connessa alle funzioni cognitive (analisi funzionale) in tempo reale durante una prestazione (pronuncia di parole, lettura di parole, associazione

parola-immagine, e così via)(4). Il grande vantaggio di queste tecniche è che sono assai meno invasive e possono essere usate anche in soggetti sani (5).

Negli ultimi anni sono state identificate diverse aree associate alle componenti uditive, visive e tattili del linguaggio, della lettura e della scrittura, ed è stato confermato il coinvolgimento delle aree della corteccia motoria corrispondenti al controllo motorio fine della lingua, della bocca e della laringe e dell'arto superiore e della mano.

LE TECNICHE DI *IMAGING*:

Si tratta di varie applicazioni derivate dalla tecnica della TAC sviluppata da A.M. Cormack e G.N. Hounsfield, rispettivamente un fisico e un ingegnere, entrambi insigniti del Premio Nobel nel 1979. I principi della TAC si basano sulla *Trasformata di Radon*, un modello creato nel 1917 dal matematico boemo J. Radon nel corso delle sue ricerche sulla Teoria della Misura.

Se si espone un corpo ad una sorgente di raggi X, questi lo attraversano da parte a parte in modo lineare, ma saranno in parte assorbiti e quindi diminuirà la loro intensità in funzione della densità dei tessuti che attraversano. Se si pone una lastra fotografica dall'altro lato del corpo rispetto alla sorgente, i raggi X la impressioneranno (cioè la faranno diventare più o meno scura) in funzione dell'intensità del raggio che la raggiunge, cioè dell'intensità residua. Il risultato finale è l'immagine radiografica che tutti conosciamo, in cui le ossa sono bianche -assorbimento completo-, i tessuti molli sono neri -nessun assorbimento- e i tessuti di densità intermedia in grigio -assorbimento parziale. La tonalità di grigio in un punto della lastra indica esattamente *quanto* il raggio X che l'ha colpito è stato assorbito dal corpo, che è funzione della densità totale dei tessuti attraversati dal raggio arrivato in quel punto, riassumendo per così dire in un unico valore tutto il suo percorso. Chiaramente, una sola radiografia non è sufficiente per ricostruire la disposizione tridimensionale dei tessuti del paziente, ma questa si può ottenere mediante l'interpolazione di un certo numero (possibilmente piccolo) di radiografie, eseguite da angolazioni diverse. Ognuna di queste radiografie contiene il riassunto dei tessuti attraversati e *questi riassunti devono essere tutti coerenti fra di loro*. Se una singola radiografia poteva essere compatibile con miriadi di disposizioni diverse dei tessuti, con la TAC è possibile ricostruire la disposizione tridimensionale dei tessuti. Quindi il corpo può essere descritto dalla funzione che associa a ciascuno dei suoi punti la sua capacità di assorbimento dei raggi X (la sua densità) lungo n rette che attraversano il corpo (cioè in n radiografie eseguite da angolazioni diverse). Dunque tutti i punti delle radiografie sono rappresentabili da una nuova funzione: quella che associa a ciascuna retta del corpo del paziente l'integra-

le della capacità di assorbimento. Questa nuova funzione è la *trasformata di Radon* della funzione “capacità di assorbimento”. La TAC permette di ricostruire da queste la disposizione esatta dei tessuti (l'*antitrasformata di Radon*), cioè di trovare la funzione di partenza avendo a disposizione il risultato della trasformata. Ovviamente, il passaggio dalla trasformata di Radon alla realizzazione di un macchinario efficiente per la TAC non è elementare. Bisogna costruire dei sistemi in grado di emettere raggi X in direzioni precise e in grado di misurare esattamente quanto sono stati assorbiti; e bisogna disporre di *software* che implementino al meglio i calcoli matematici necessari per effettuare l'antitrasformata di Radon.

Si può ben dire che le tecnologie che oggi permettono una ricostruzione tridimensionale di un corpo sono frutto di un'intensa collaborazione fra matematici, fisici, informatici, ingegneri e medici (6).

L'uso di tecniche di visualizzazione cerebrale (*brain imaging*) ha contribuito alla mappatura fine delle strutture interessate al controllo dell'espressione linguistica normale e patologica. Le osservazioni di Broca, di Wernicke e di Penfield sono state ampiamente confermate, anche se è stata evidenziata un'estensione più ampia delle aree corticali che entrano in gioco e rilevato il coinvolgimento anche di strati più profondi. Inoltre, è emerso che particolari aspetti del linguaggio possono essere compromessi anche da danni corticali localizzati in regioni diverse, come la corteccia motoria o sensorimotoria primaria e le aree che controllano la memoria. D'altra parte, è stato osservato che si possono sviluppare funzioni linguistiche normali anche in soggetti affetti da altri deficit percettivi (p. es. visivi o uditivi) o cognitivi.

Un riscontro interessante è l'attivazione di strutture corticali motorie distinte in risposta all'elaborazione di verbi, parole o frasi che descrivono movimenti o azioni, e il coinvolgimento di aree sensoriali in risposta all'uso di parole associate a sensazioni (ad. es., i nomi di colori attivano le aree visive).

Anche se le aree deputate al linguaggio si trovano prevalentemente nell'emisfero sinistro, alcune funzioni legate al linguaggio attivano aree specializzate nell'emisfero controlaterale (in genere il destro), in particolare in relazione a prestazioni visuo-spaziali per la comprensione/rappresentazione delle parole. È stato anche osservato un dimorfismo sessuale delle aree del linguaggio, che sono in genere più grandi nelle femmine: le aree corticali e temporali hanno una maggiore densità di neuroni ed un volume maggiore del 20% nelle donne e le loro capacità di eloquio risultano statisticamente migliori che nell'uomo. Inoltre, la lateralizzazione è meno pronunciata nella donna, infatti la fMRI effettuata durante un esercizio sul riconoscimento di parole in rima o durante la lettura rivela l'attivazio-

ne dell'emisfero sinistro nei maschi, mentre nelle donne si attivano entrambi gli emisferi. Questo aspetto trova conferma nel fatto che le lesioni nell'emisfero sinistro comportano maggiore invalidità verbale negli uomini che nelle donne.

L'ipotesi, peraltro molto dibattuta, che attraverso l'esplorazione dell'anatomia del cervello si possa arrivare ad una precisa descrizione dei processi mentali (dal neurone al pensiero) si basa sulla teoria della modularità della mente di Fodor (7), che postula che l'architettura della mente e del cervello, che ne è il substrato materiale (*hardwired*), sia strutturata in moduli funzionali, che ciascun modulo svolga dei compiti precisi e sia a sua volta scomponibile in sottoprocessi più elementari.

Il paradigma scientifico del modularismo, pur essendo stato sostenuto da una serie di evidenze, è oggi molto discusso ed è stata anche avanzata una teoria radicalmente opposta, il connessionismo, che si basa su un'organizzazione strutturata sul modello delle reti neurali, per cui non sarebbe possibile prevedere l'identificazione di luoghi cerebrali dedicati ad operazioni specifiche.

Attualmente si stanno proponendo anche dei modelli ibridi tra modularismo e connessionismo, ma sembra piuttosto riduttiva una rappresentazione della natura complessa della mente come un calcolatore fatto di circuiti prefissati, che modificano il loro stato in funzione di stimoli che vengono dall'interno o dall'esterno dell'organismo.

Il ruolo dell'esperienza

Tornando all'annoso dilemma *nature/nurture*, è evidente che aver definito la struttura neuroanatomica che permette l'espressione linguistica non porta ad una risoluzione della contrapposizione tra le due fazioni. Sebbene i bambini nascano dotati delle strutture necessarie per parlare, come di quelle essenziali per la percezione sensoriale (tatto, vista, udito, gusto e odorato), questo non implica che le facoltà linguistiche siano innate o preformate, come la capacità di respirare. Per innato si intende ciò che è biologicamente o geneticamente programmato, a differenza di ciò che invece è acquisito, cioè plasmato in modo imprevedibile dall'ambiente, dalle esperienze e dalla formazione individuale. Ma qual è il ruolo dell'esperienza?

Nel 1828, fu trovato un ragazzo di dodici anni vissuto allo stato brado, *l'enfant sauvage d'Aveyron* (Francia). Nonostante tutti gli sforzi della comunità che lo accolse, il ragazzo non imparò mai a parlare. Altri due casi, quelli di Genie e Isabelle, aprono interessanti scenari sul ruolo dell'apprendimento. Genie era una bambina tenuta in condizioni di schiavitù e in totale assenza di contatti linguistici fino all'età di tredici anni. Quando fu ritrovata, la bambina dimostrava di non avere sviluppa-

to alcuna capacità linguistica e pur essendo stata sottoposta ad un intenso programma di recupero, dopo qualche mese riusciva solo ad articolare qualche parola, ma aveva grosse difficoltà con la sintassi. Isabelle, cresciuta nelle medesime condizioni di Genie, fu ritrovata all'età di sei anni e mezzo. Il programma di recupero portò la bambina a un pieno ristabilimento delle funzioni linguistiche. Lo studio delle differenze tra questi casi portò alla riflessione che, per lo sviluppo del linguaggio, è indispensabile l'esposizione precoce del bambino a rapporti sociali. Importanti ricerche in questo ambito furono realizzate da Jean Piaget, il famoso pedagogista svizzero, che puntò i riflettori sui periodi "critici" dell'apprendimento, come elemento basilare dello sviluppo delle facoltà linguistiche e cognitive in genere.

In effetti, sembra che esistano precisi vincoli biologici che governano sia la struttura che le fasi temporali dello sviluppo del SNC e, in particolare, che ci sia un periodo critico per l'acquisizione delle abilità linguistiche che si maturano di norma tra la nascita e la pubertà. Durante questo periodo, nel bambino le diverse abilità linguistiche emergono gradualmente, prima l'acquisizione del lessico e, in seguito, delle conoscenze sintattiche, sempre più articolate e complesse, ma è fondamentale che l'apprendimento cominci nei primi anni o mesi di vita, mentre è tra i sei e gli undici anni che le competenze grammaticali si completano e si arricchiscono con la scolarizzazione.

LE PRIME FASI DEL PROCESSO DI SVILUPPO DELLE COMPETENZE INDIVIDUALI

3-11 mesi: balbettio ("ma", "na", "da", "go") e imitazione generalizzata dei suoni, ecolalia ("ma-ma-ma-ma").
6 mesi: imitazione di alcuni suoni semplici pronunciati dagli altri ma che fanno parte del repertorio del bambino. La *lallazione* è il movimento della lingua, della mandibola, e richiede un'elaborazione motoria;

12 mesi: imitazione di suoni specifici e nuovi non presenti nella fase del balbettio.

18 mesi: incremento nell'uso del linguaggio, aumento del numero dei vocaboli.

24 mesi: conoscenza di più di 200 parole e articolazione di frasi di struttura complessa.

La grammatica universale

Nella struttura del linguaggio, la grammatica rappresenta il sistema delle regole per combinare tra loro i diversi elementi.

La grammatica comprende tre livelli:

- *fonologico:* regole per combinare i suoni;
- *morfologico-sintattico:* regole necessarie per la produzione di nuove parole da altre (per esempio, mediante suffissi per la coniugazione dei verbi) e per la composizione di frasi e periodi;

- *semantico:* regole per definire il significato delle espressioni.

Nella seconda metà del Novecento, Noam Chomsky fece un'analisi comparata di diverse lingue e individuò delle forti analogie tra le loro strutture grammaticali, che interpretò come il risultato di una competenza mentale universale. Secondo Chomsky, ci sarebbe una *conoscenza innata* delle regole della grammatica, che costituirebbero i principi universali del linguaggio (8).

Lo sviluppo del linguaggio sarebbe lo svolgimento di un "processo intrinsecamente determinato": ci sarebbe, dunque, una struttura predisposta all'elaborazione del linguaggio, un qualunque linguaggio cui il bambino sia esposto da piccolo, che è capace di organizzare e combinare parole e frasi in espressioni comprensibili secondo regole universali. In altre parole, lo sviluppo delle facoltà linguistiche sarebbero il risultato del dispiegamento di attitudini innate, che discendono da una dotazione genetica individuale, sulla quale si innesta l'esperienza.

Uno degli argomenti che Chomsky portò a sostegno della sua teoria è che la capacità di formare frasi corrette dal punto di vista grammaticale e di usare in modo creativo le strutture della madrelingua si sviluppa molto rapidamente nella prima infanzia. L'apprendimento del linguaggio non potrebbe essere così spedito, se non ci fosse una struttura innata pronta a sostenerlo. Un altro elemento di supporto sarebbe il fatto che il numero di fonemi che gli organi vocali umani sono in grado di produrre è limitato mentre, grazie alla "doppia articolazione", è teoricamente illimitato il numero di messaggi che chi parla può produrre (e chi ascolta può interpretare) con un numero finito di elementi-base.

Il lavoro di Chomsky ha incontrato un'accesa opposizione, soprattutto da parte degli psicologi comportamentisti (behavioristi), ma ha anche avuto profonde implicazioni sullo sviluppo della psicologia cognitiva. Gran parte della concezione attuale di come funziona la mente attinge direttamente dalle idee di Chomsky e dalla sua teoria. L'estensione delle sue tesi al di là delle loro implicazioni sul linguaggio ha portato ad elaborare modelli dei processi mentali, a volte anche molto fantasiosi. Tra gli psicolinguisti, quello che si spinge più avanti è Steven Pinker (9) secondo il quale il linguaggio sarebbe un'abilità specializzata e ampiamente pre-programmata, intrinsecamente connessa alla struttura del cervello e al suo programma di sviluppo, un *istinto*, come per i ragni tessere la tela o per gli insetti volare. "La mente probabilmente contiene programmi per le regole grammaticali ...e uno speciale set di geni che aiuta a cablarle".

Quindi, prima di qualsiasi esperienza, saremmo già *dotati* di una conoscenza innata della struttura del

linguaggio? E le capacità innate sarebbero prestabilite secondo un programma genetico prefissato? Anche se è stato suggerito che ci siano legami stretti tra la configurazione genetica di un essere umano e le sue abilità linguistiche, siamo ancora lontani dal poter anche lontanamente immaginare un ruolo del genere per il nostro patrimonio genetico.

Al contrario degli psicolinguisti, a molti sembra assai più verosimile che la rappresentazione della realtà (e con essa la struttura del linguaggio) nei suoi diversi aspetti, lessicali, semantici, sintattici, grammaticali, etc. si costruisca gradualmente durante lo sviluppo e che la struttura del SNC sia inizialmente solo abbozzata e possa modellarsi con l'esperienza e continuare ad arricchirsi nel corso dell'intera vita, sulla base delle informazioni che vengono via via acquisite ed elaborate.

Nel periodo critico di acquisizione del linguaggio, in particolare nei primi mesi di vita, quando la plasticità del SNC è massima, si sviluppano innumerevoli reti neurali "potenziali" (teoria delle connessioni), che gestiscono i processi di apprendimento, anche del linguaggio. A questa fase segue la fase di "potatura" delle reti neurali, quando le connessioni (sinapsi) inutilizzate vengono allentate, mentre quelle maggiormente usate vengono consolidate. La densità neuronale e sinaptica delle aree corticali interessate raggiungerebbe l'apice verso i cinque anni di vita e secondo alcuni, dopo il periodo critico, non sarebbe più possibile apprendere determinate funzioni (10).

In genere le aree deputate alle funzioni linguistiche sono localizzate nell'emisfero sinistro (se questo è l'emisfero dominante) che è più sviluppato dell'emisfero destro. La lateralizzazione compare già nella vita fetale e nel neonato la capacità di distinguere i suoni è già sviluppata, tanto che l'area di Wernicke si attiva alla percezione delle parole. Tuttavia, numerosi studi dimostrano che gli emisferi cerebrali non nascono già con una specializzazione, anzi sono dotati di un'elevata plasticità. Per certi funzioni sono alternativi, ma per altre sono complementari ed anche capaci di intervenire l'uno al posto dell'altro. Infatti, per esempio, i bambini con danni cerebrali precoci o anche adolescenti, cui è stato rimosso l'intero emisfero sinistro, sono in grado di recuperare la maggior parte delle abilità linguistiche con una differenza: l'emisfero dominante potrebbe divenire quello destro. Si pensa che questo recupero sia dovuto ad un ruolo vicariante svolto dall'emisfero controlaterale, che utilizza aree linguistiche sue proprie per svolgere attività che in condizioni normali sono eseguite principalmente dall'emisfero sinistro (11). Sebbene in tutti si osservi una certa partecipazione dell'emisfero destro in compiti linguistici, soprattutto di comprensione/elaborazione, nei mancini questa attività è maggiore che nei destrimani.

Le basi genetiche del linguaggio

Una struttura innata del linguaggio come quella ipotizzata da Pinker richiede un piano prestabilito (*blueprint*) di connessioni sinaptiche a livello delle reti neuronali e l'esistenza di geni specifici capaci di dirigere e organizzare direttamente le funzioni dei processi linguistici. Il fatto che alcuni difetti dello sviluppo del linguaggio siano ereditari, cioè si trasmettano da una generazione all'altra nelle famiglie, suggerisce che ci sia un fondamento genetico nella capacità linguistica. Ma il problema è se esistono e si possono identificare specifici "geni del linguaggio". Un approccio efficace può essere quello di studiare proprio i difetti ereditari del linguaggio: questa è la strategia messa in atto da Fisher e collaboratori (12) che riuscirono ad identificare una specifica mutazione nel gene FOXP2, che si trova sul cromosoma 7, in numerosi soggetti affetti da SLD (Speech-Language Disorders) appartenenti alla stessa famiglia.

Analizzando i diversi membri della famiglia è stato constatato che mentre i soggetti affetti presentavano la mutazione del gene FOXP2, questa non era presente nei loro familiari con capacità linguistiche normali né in altri 364 soggetti di controllo (13). Tuttavia, altre analisi su soggetti affetti da SLD hanno indicato il coinvolgimento di altre regioni del cromosoma 16 e del 19 (14). Questa eterogeneità non sorprende dato che SLD raggruppa un insieme di patologie, tutte caratterizzate da disprassia grave, in cui la mancanza di coordinamento della bocca e della lingua rendono il discorso poco coerente e difficoltoso l'uso della grammatica. Nonostante che si tratti di difetti eterogenei, la stima dell'ereditabilità di diverse abilità linguistiche nell'ambito della SLD è prossima al 100%.

È stato poi chiarito che il gene FOXP2 codifica per una proteina della classe *forkhead*, una famiglia di fattori di trascrizione, cioè una proteina che controlla in modo gerarchico l'attività di numerosi altri geni. In uno studio successivo è stata trovata una mutazione diversa dello stesso gene in 46 bambini in cui la disprassia si presenta isolata, (15) confermando quindi le tesi di Fisher.

Anche se la maggior parte dei genetisti è rimasta cauta circa le conclusioni da trarre, alcuni psicolinguisti si sono affrettati ad affermare che era stato identificato un gene direttamente coinvolto nello sviluppo della comunicazione e del linguaggio. "Una scoperta eccitante che segna l'alba della genetica cognitiva", ha sostenuto Pinker (16), profetizzando che si potrebbe presto essere in grado di costruire una mappa genetica delle funzioni cognitive più o meno direttamente a partire dai geni e dai loro prodotti proteici. Anche i *media* hanno rilanciato la notizia sul "gene della grammatica" con notevole enfasi (17).

A raffreddare gli entusiasmi è arrivata la scoperta che i membri della famiglia con la mutazione in questione

non hanno solo problemi di linguaggio, ma anche di visualizzazione, di controllo motorio fine, di andatura e di percezione spaziale, ognuno dei quali può avere come effetti collaterali l'alterazione dello sviluppo del linguaggio fin dalla prima infanzia. Infatti è stato osservato che, nel corso del tempo, l'espressione di FOXP2 diventa sempre più finemente regolata nel cervelletto, un'area particolarmente delicata per lo sviluppo delle abilità motorie. Questa molteplicità di effetti è comune ai geni come FOXP2, che controllano fattori di trascrizione e che, se sono alterati, possono avere esiti molto generali, dato che la loro attività si ripercuote a cascata sull'azione di molti geni.

Quindi, i difetti di espressione connessi alla mutazione FOXP2 potrebbero essere secondari ai problemi motori, cioè della capacità di apprendimento del coordinamento fine, e, in particolare del movimento oro-facciale, insostituibile per lo sviluppo delle abilità linguistiche. Se così fosse, non solo la relazione tra FOXP2 e facoltà linguistiche sarebbe più indiretta di quanto non fosse apparso inizialmente, ma è anche probabile che il ruolo di questo gene sia più marginale di quanto ipotizzato. Allora l'entusiasmo suscitato intorno all'idea che un singolo gene potesse essere responsabile dello sviluppo di una facoltà complessa come il linguaggio risulta decisamente eccessivo.

FOXP2 nelle altre specie

Vale la pena di considerare, però, che dalla scoperta della mutazione di FOXP2 nell'uomo e del suo presunto rapporto con le capacità linguistiche, si è avviato un interessante filone di ricerca che ha puntato ad analizzare geni omologhi in altre specie.

Il gene FOXP2 è estremamente conservato, cioè ha subito pochi cambiamenti, nel corso dell'evoluzione dei vertebrati ed ha sequenze molto simili anche in specie distanti dal punto di vista filogenetico.

Le proteine FOXP2 dei primati non umani (scimpanzé, gorilla e macachi Rhesus) sono identiche e non hanno subito cambiamenti fin dalla separazione della linea evolutiva dello scimpanzé da quella dell'uomo (circa 4-6 milioni di anni fa). Per contro, nella linea umana ci sono stati due cambiamenti di aminoacidi, uno dei quali è datato a circa 200.000 anni fa. Questo è sembrato un indizio promettente, dal momento che i tempi di questo cambiamento coincidono grosso modo con le stime di quando la facoltà della parola ha iniziato a emergere nella nostra specie. Sarebbe comunque avventato affermare che una singola mutazione di FOXP2, modificando la funzione della proteina, possa aver contribuito direttamente all'evoluzione del linguaggio umano.

Alcune interessanti novità vengono dallo studio dei pipistrelli e degli uccelli. Un gruppo di ricercatori ha cercato di capire se il gene FOXP2 sia associato con lo

sviluppo di un meccanismo sonoro, l'ecolocalizzazione, specifico dei pipistrelli, che permette di usare segnali vocali per orientarsi e per catturare le prede. Confrontando i geni FOXP2 provenienti da pipistrelli che usano diversi sistemi per l'ecolocalizzazione, hanno trovato notevoli differenze, il che indicherebbe un ruolo del gene nello sviluppo di questa capacità nell'ambito di alcune specie. Questo ruolo potrebbe essere proprio nella coordinazione senso-motoria delle aree oro-facciali per l'emissione dei suoni (18).

La ricerca sull'espressione di FOXP2 degli uccelli, la cui sequenza è molto simile a quella dell'uomo, tende a riaffermare che la conclusione sul legame tra FOXP2 e il linguaggio è quanto meno prematura. Confrontando l'espressione del gene di uccelli canori che imparano la loro vocalizzazione da altri conspecifici (ad esempio, i canarini) con quello di uccelli canori che producono la loro vocalizzazione per istinto, sono stati ottenuti risultati di considerevole interesse (19). Nei primi, l'attività di FOXP2 nel cervello è maggiore durante le fasi di apprendimento che durante la produzione canora. Inoltre, l'inibizione dell'attività di FOXP2, mediante iniezione di RNA interferente nel cervello, compromette la capacità degli uccelli canori di imitare correttamente il canto di altri uccelli (20).

Queste osservazioni avvalorano l'ipotesi che l'azione di FOXP2 sia associata all'apprendimento di abilità di coordinamento motorio fine e alla scala temporale del suo sviluppo, cioè che sia un importante fattore di plasticità vocale. Questo non è esplicitamente in contraddizione con la constatazione di una recente e rapida evoluzione di FOXP2 nei primati o con l'affermazione che possa aver contribuito all'evoluzione del linguaggio umano. Anche se non si può dare per scontata l'omologia di funzione o di espressione dello stesso gene in specie diverse, il fatto che negli uccelli FOXP2 non sia il gene che codifica per uno specifico canto, ma piuttosto uno che facilita la capacità di imparare a cantare, tende a confutare l'idea che FOXP2 possa rappresentare il "gene della grammatica". Anzi, sembra più plausibile che nel corso dell'evoluzione possano essere stati favoriti i cambiamenti genetici che contribuiscono ad una maggiore plasticità nell'apprendimento (21).

Dopo decenni di ricerche, nonostante i significativi progressi delle neuroscienze e della neurogenetica, il processo di auto-organizzazione della mente è ancora in gran parte sconosciuto e imprevedibile. Il compito è molto complicato considerato che le abilità linguistiche sono in completa interdipendenza con diverse altre abilità cognitive. In particolare la *comprensione* richiede doti individuali, come capacità di percepire il mondo esterno, sensibilità sensoriali, capacità di apprendimento e di elaborazione, in particolare capacità logiche, simboliche e mnemoniche.

Il linguaggio può essere concepito come un sistema gerarchico, articolato su diversi piani, ad esempio, le abilità fonetiche influenzano quelle semantico-lessicali. Inoltre, allo sviluppo delle facoltà linguistiche contribuiscono *doti individuali*, come la capacità di produrre e percepire suoni, o come l'abilità nel concepire categorie e creare collegamenti astratti e logici tra di esse, ma anche *fattori sociali*, come la tendenza alla formazione di legami familiari e di gruppo, e la spinta a comunicare con i componenti del gruppo e all'esterno del gruppo, che rappresentano incentivi fondamentali per il processo di apprendimento e di trasmissione del linguaggio.

Il corretto svolgimento di ciascuno dei processi mentali implicati può essere alterato da cambiamenti del patrimonio genetico, come dall'intervento di fattori esterni. Il funzionamento del SNC è talmente delicato che anche una piccola asincronia o alterazione nelle prime fasi di sviluppo può avviare una cascata di eventi negativi. Tuttavia, lo sviluppo del linguaggio sembra molto robusto di fronte ai rischi genetici e ambientali: il fatto che molte persone con geni alterati possano svilupparsi normalmente suggerisce che non basta un singolo difetto genetico per compromettere lo sviluppo del linguaggio. Questa conclusione è coerente con i dati comportamentali, che riguardano la memoria o altre facoltà, e con l'ipotesi che per queste esista una forte "canalizzazione", cioè che esistano una serie di genotipi in grado di produrre lo stesso fenotipo. Solo quando ci sono più fattori genetici e ambientali che concorrono ad alterare i processi di sviluppo si manifestano dei deficit comportamentali.

Dagli esempi presentati si evince che gli studi genetici possono contribuire indiscutibilmente a fare luce su processi complessi come quelli coinvolti nelle funzioni cognitive (22), purché i risultati vengano accolti senza facili entusiasmi e cercando le dovute conferme nella comprensione dei percorsi metabolici e dei processi biologici sottostanti e senza trascurare una valutazione approfondita delle interazioni con l'ambiente.

Anna M. Rossi



Note

- (1) A. Karmiloff-Smith *The tortuous route from genes to behavior: A neuroconstructivist approach* COGNITIVE, AFFECTIVE, BEHAVIORAL NEUROSCIENCE 6 (1), 9-17, 2006
- (2) André Martinet *Elementi di linguistica generale* Laterza, Bari, 1967
- (3) È appena il caso di sottolineare come in tutte le culture la forma scritta del linguaggio sia secondaria e derivata da quella orale. D'altra parte l'uomo parla da più di un centinaio di migliaia di anni, ma scrive sicuramente da non più di 6.000 anni.
- (4) Le analisi di *neuroimaging* funzionale (PET e fMRI) misurano l'attività del SNC (Sistema nervoso centrale) in tempo reale: entrambe si basano sul fatto che l'attivazione di un'area del cervello comporta un maggior consumo di ossigeno o di glucosio (risposta metabolica) e un maggior afflusso sanguigno (risposta emodinamica), quindi si prestano ad analizzare e studiare la relazione tra attività di determinate aree cerebrali e risposte a specifici stimoli. La PET misura il flusso sanguigno o il consumo di glucosio con una risoluzione inferiore ai 5 mm in un tempo di circa 30 sec ma la fMRI ha un potere di risoluzione ancora migliore, in quanto misura l'ossigenazione e il flusso sanguigno con una risoluzione inferiore ai 2mm in un tempo di circa 1sec.
- (5) Anche le tecniche di elettroencefalografia (EEG) o magnetoencefalografia (MEG), che non sono propriamente tecniche di neuroimaging, si prestano ad un'analisi funzionale ad alta risoluzione: sono basate sulla misurazione della variazione di potenziale elettrico sulla cute, che corrisponde con una certa approssimazione all'attivazione elettrochimica delle sottostanti aree del cervello (potenziali evento-correlati) che generano campi elettrici o magnetici. Hanno una risoluzione spaziale più modesta (circa 10 mm) ma un'ottima risoluzione temporale, infatti misurano le correnti neuronali con una risoluzione di 1msec.
- (6) M. Abate *Come salvare vite e comprarsi le Seychelles usando la teoria della misura* in *Lezioni sotto la Torre*, pp 145-151, ETS, Pisa, 2006
- (7) J. Fodor *La mente modulare* Il Mulino editore, Bologna, 1999
- (8) Gli "universali linguistici" sono definiti come un insieme di generalizzazioni entro le quali vengono compresi tutti i linguaggi umani, che mettono in luce le proprietà in comune ad ogni lingua, dal francese al cinese, dall'italiano all'urdu, mentre la lingua che viene parlata, i dialetti e le inflessioni sarebbero acquisiti dall'ambiente sociale.
- (9) S. Pinker *The language instinct* Penguin books, Londra, 1994
- (10) Alcuni esperimenti al riguardo sono stati compiuti su animali, come ad esempio le scimmie (H. F. Harlow, S. J. Suomi *Social recovery by isolation-reared monkeys* PROC NATL ACAD SCI U S A. 68(7):1534-8)(1971) Gli animali, cresciuti in totale isolamento sin dalla nascita e rimessi in contatto con altri simili dopo sei mesi, non erano più in grado di stabilire relazioni sociali all'interno del gruppo, né di imparare ad agire come i loro simili in semplici situazioni quotidiane, neanche dopo lunghi periodi di permanenza nel gruppo.
- (11) Anche esaminando i reperti fossili di *Homo habilis* si osservano vaghe impronte endocraniche, più prominenti a sinistra. Questo non ci permette di affermare che i nostri antenati vissuti più di un milione di anni fa usassero il linguaggio, perché, nonostante le notevoli differenze in

quoziente di encefalizzazione, anche le scimmie hanno un piccolo omologo dell'area di Broca.

(12) S. E. Fisher, F. Vargha-Khadem, K. E Watkins, A. P. Monaco, M. E. Pembrey *Localization of a gene implicated in a severe speech and language disorder* NATURE GENETICS, 18, 168-170, 1998

(13) C. S. Lai, S. E. Fisher, J. A. Hurst, F. Vargha-Khadem, A. P. Monaco *A forkhead-domain gene is mutated in a severe speech and language disorder* NATURE 413(6855):519-523, 2011

(14) SLI Consortium *A genomewide scan identifies two novel loci involved in specific language impairment (SLI)*. AM J HUM GENET 70, 384-398 2002

(15) K. D MacDermot, E. Bonora, N. Sykes, A. M. Coupe, C. S. Lai, S. C. Vernes *et al. Identification of FOXP2 truncation as a novel cause of developmental speech and language deficits* AM J HUM GENET 76(6):1074-1080, 2005

(16) S. Pinker *Talk of genetics and vice-versa* NATURE, 413, 465-466, 2001

(17) <http://www.blogalileo.com/il-gene-del-linguaggio/>

(18) G. Li, J. Wang, S. J. Rossite, G. Jones, S. Zhang (2007) *Accelerated FoxP2 Evolution in Echolocating Bats* PLoS ONE 2(9): e900. doi:10.1371/journal.pone.0000900

(19) S. Haesler, K. Wada, A. Nshdejan, E. E. Morrissey, T. Lints, E. D. Jarvis, C. Scharff *FoxP2 expression in avian vocal learners and non-learners* J. NEUROSCI. 24(13):3164-75, 2004

(20) S. Haesler, C. Rochefort, B. Georgio, P. Licznarski, P. Osten, C. Scharff *Incomplete and inaccurate vocal imitation after knockdown of FoxP2 in songbird basal ganglia nucleus area X* PLoS Biology 5(12):e321, 2007

(21) Karmiloff-Smith A. (2006) si veda nota (1)

(22) D. V. M. Bishop *The role of genes in the etiology of specific language impairment* J COMMUN DIS 35, 311-328, 2002

