

IL LINGUAGGIO UMANO È UNA FACOLTÀ INNATA O UN'ABILITÀ APPRESA?¹

ANNA MARIA ROSSI

Dipartimento di Biologia, Università di Pisa

1. Introduzione

La storia delle scienze umane e delle scienze biomediche è stata attraversata, con alterne vicende, dalla disputa “*nature versus nurture*”, come fu definita da Francis Galton già nel 1874. Talora ha prevalso l'idea che la mente avesse un'organizzazione geneticamente preordinata, pertanto le sue facoltà sarebbero innate (innatismo), talaltra l'esperienza e l'apprendimento sono stati investiti del ruolo, pressoché esclusivo, di modellare l'intelletto (costruttivismo). Ormai non ci dovrebbero essere più dubbi che, nel campo delle facoltà cognitive, come per altri aspetti dello sviluppo dell'organismo, l'azione dei geni si integra in modo inscindibile con gli effetti dell'ambiente. È infatti generalmente accettata la teoria secondo la quale 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 “*nature versus nurture*” ha assunto più volte toni accesi e le posizioni sono state spesso 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 capacità innata esista prima di qualsiasi esperienza, facendo rivivere miti delle “idee innate” ritenuti da tempo superati [8].

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 – potrebbe aver agito a favore dei soggetti in grado di comunicare verbalmente, a scapito degli ominidi precedenti?

Le lingue attuali derivano da una comune lingua originaria (ipotesi monogenetica) oppure da diversi ceppi primordiali (ipotesi poligenetica)?

¹ Questa lezione è stata tenuta l'11 novembre 2011 presso il Liceo classico Galileo, via Martelli 9, Firenze. Il presente contributo costituisce una rielaborazione di un articolo, intitolato “I geni e la grammatica” apparso su *Naturalmente. Fatti e trame delle Scienze* 25 (2012) n. 2, pp. 45-52.

Ovviamente, l'intero problema si colloca in quello più generale delle teorie sulla mente e sui processi di apprendimento. Nonostante il loro notevole interesse, non ci dilungheremo su questi aspetti per mancanza di spazio.

Il linguaggio non è una prerogativa esclusiva dell'uomo. Altri animali sono, infatti, capaci di comunicare mediante linguaggi non verbali, o anche con suoni, talvolta articolati in diverse modulazioni. Le espressioni e i versi che gli animali utilizzano manifestano una serie di esigenze (fame, pericolo, etc.) e, almeno in apparenza, a ogni espressione corrisponde un messaggio. Il linguaggio umano, invece, è composto da parole ciascuna delle quali ha un significato a sé stante – frutto di un'associazione arbitraria e convenzionale tra un suono e un significato – ma secondo la posizione dei vocaboli il senso di una frase può cambiare anche radicalmente. L'uso della sintassi – una risorsa che consente di dare un senso a una sequenza di parole in funzione della loro collocazione relativa – aumenta enormemente la capacità espressiva, pur in presenza di un numero finito di elementi fonetici e lessicali, e permette di formulare concetti astratti anche senza avere a disposizione termini specifici.

2. Il substrato neurobiologico del linguaggio

La comunicazione verbale implica in entrata l'*acquisizione*, l'*elaborazione* e l'*interpretazione* di informazioni che vengono dagli organi di senso, in particolare a livello uditivo e visivo, e in uscita la *progettazione* e la *formulazione* della frase, seguita dall'*articolazione* e dalla *coordinazione* dei muscoli del tratto oro-facciale e del collo per esprimersi verbalmente, e del braccio e della mano per trasmettere in forma scritta il proprio pensiero.

Le aree cerebrali che controllano il linguaggio sono state inizialmente identificate da Paul Broca e Carl Wernicke nella seconda metà del XIX secolo: secondo il modello, detto di Wernicke-Geschwind, l'area di Wernicke, adiacente alla corteccia uditiva dell'emisfero sinistro, sarebbe un centro di elaborazione/smistamento dell'informazione sensoriale che proviene dalla corteccia uditiva primaria o visiva primaria, che sarebbe qui trasformata in una rappresentazione per il riconoscimento fonetico e semantico. Per pronunciare le parole, il segnale inviato dall'area di Wernicke sarebbe trasferito all'area di Broca, localizzata in posizione più frontale nell'emisfero sinistro, 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, della bocca e degli organi della fonazione, in particolare della laringe.

Intorno agli anni '30 del XX secolo, Wilder Graves Penfield e i suoi collaboratori condussero degli esperimenti elettrofisiologici (mediante stimolazione con elettrodi di diverse aree del cervello) su pazienti epilettici. Misero così 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 neuro-anatomica* di Penfield, che costituisce la prima rappresentazione *somatotopica*, ovvero delle varie parti del corpo, sulla corteccia motoria primaria e sulla corteccia sensoriale primaria.

Oggi, lo studio dell'anatomia del sistema nervoso centrale (SNC) si avvale di tecniche di *neuroimaging*, o visualizzazione cerebrale, come la TAC (Tomografia Assiale Computerizzata), la PET (Tomografia a Emissione di Positroni) e la RMN (Risonanza Magnetica Nucleare) che consentono di ricostruire un modello tridimensionale dell'oggetto esaminato.² 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).³ Il grande vantaggio di queste tecniche è che sono assai meno invasive e possono essere usate anche in soggetti sani.⁴

Grazie a queste tecniche, 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. È stata realizzata una 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 sensori-motoria 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 (ad es., visivi o uditivi) o cognitivi.

2 Le tecniche di *imaging* rappresentano varie applicazioni derivate dalla tecnica della TAC, sviluppata da A. M. Cormack e G. N. Hounsfield, rispettivamente un fisico e un ingegnere, che furono 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 [1].

3 Le analisi di *neuroimaging* funzionale (PET e fMRI) misurano l'attività del 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 l'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, 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.

4 Anche le tecniche di elettroencefalografia (EEG) o magnetoencefalografia (MEG), che non sono propriamente tecniche di *neuroimaging*, si prestano a 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 eventocorrelati) che generano campi elettrici o magnetici. Le tecniche di EEG e MEG hanno una risoluzione spaziale più modesta (circa 10 mm) ma un'ottima risoluzione temporale, infatti misurano le correnti neuronali con una risoluzione di 1msec.

Un riscontro interessante è l'attivazione di strutture corticali motorie distinte in risposta all'elaborazione di verbi o 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). 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 e un volume maggiore del 20% nella donna, le cui capacità di eloquio risultano statisticamente migliori rispetto a quelle dell'uomo. Inoltre, la lateralizzazione è meno pronunciata nella donna: infatti l'analisi funzionale con RMN effettuata durante un esercizio di riconoscimento di parole in rima o durante la lettura rivela l'attivazione 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 a una precisa descrizione dei processi mentali (dal neurone al pensiero) si basa sulla teoria della modularità della mente di Fodor [5], che postula che l'architettura della mente e del cervello, che ne sarebbe il substrato materiale (*hardwired*), sia strutturata in moduli funzionali e che ciascun modulo svolga dei compiti precisi, e sia a sua volta scomponibile in sottoprocessi più elementari. Il paradigma scientifico del modularismo, pur essendo 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 a operazioni specifiche.

Anche se attualmente si stanno proponendo dei modelli ibridi tra modularismo e connessionismo, 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.

3. Il ruolo dell'esperienza

Tornando al dilemma *nature/nurture*, è evidente che aver definito la struttura neuroanatomica che permette l'espressione linguistica non può portare al superamento 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?

Importanti ricerche realizzate da Jean Piaget, il famoso pedagogista svizzero, hanno messo in evidenza che, per lo sviluppo del linguaggio, è indispensabile l'esposizione precoce del bambino a rapporti sociali e che esistono periodi "critici" dell'apprendimento, che è un elemento basilare dello sviluppo delle facoltà linguistiche e cognitive in genere.

In effetti, sembra che esistano precisi vincoli biologici che governano le fasi temporali dello sviluppo del SNC e, in particolare, che il periodo critico per l'acquisizione delle abilità linguistiche di norma si colloca tra la nascita e la pubertà. Durante questo periodo, nel bambino le diverse abilità linguistiche emergono gradualmente, con l'acquisizione del lessico prima e, in seguito, delle conoscenze sintattiche, sempre più articolate e complesse, ma è fondamentale che l'apprendimento cominci nei primi mesi o anni di vita, mentre tra i sei e gli undici anni 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"), imitazione generalizzata dei suoni e ecolalia ("ma-ma-ma-ma").

6 mesi: imitazione di alcuni suoni semplici pronunciati da altri entrano a far parte del repertorio del bambino. La *lallazione* è il movimento della lingua e della mandibola e richiede un'elaborazione motoria.

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

18 mesi: incremento dell'uso del linguaggio e aumento del numero dei vocaboli.

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

4. 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 (ad es., mediante suffissi per la coniugazione dei verbi o per la generazione di parole derivate) e per la composizione di frasi e periodi articolati;
- *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 e sintattiche, che interpretò come il risultato di una competenza mentale universale [3]. Secondo Chomsky, ci sarebbe una *conoscenza innata* delle regole della grammatica,

che costituirebbero i principi linguistici universali,⁵ mentre la lingua che viene parlata, i dialetti e le inflessioni sarebbero acquisiti dall'ambiente sociale.

Lo sviluppo del linguaggio sarebbe lo svolgimento di un "processo intrinsecamente determinato": ci sarebbe, dunque, una struttura predisposta all'elaborazione del linguaggio, qualunque sia la lingua 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, nonostante che il numero di fonemi che gli organi vocali umani sono in grado di produrre sia limitato, tuttavia chi parla è in grado di formare e interpretare infinite frasi.

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 bizzarri. Tra gli psicolinguisti, quello che si spinge più avanti è Steven Pinker 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» [12].

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 costituzione 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, etc.) si costruisca gradualmente durante lo sviluppo e che

5 Gli "universali linguistici" sono un insieme di generalizzazioni che accomunano tutti i linguaggi umani, cioè mettono in luce le proprietà comuni a tutte le lingue, dal francese al cinese, dall'italiano all'urdu.

la struttura del SNC sia 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.

Secondo la teoria delle connessioni, 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", 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 facoltà.⁶

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 certe 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, ma con una differenza: l'emisfero dominante potrebbe divenire quello destro. Si pensa che questo recupero sia dovuto a un ruolo vi-carante svolto dall'emisfero controlaterale, che utilizza aree linguistiche sue proprie per svolgere attività che in condizioni normali sono eseguite principalmente dall'emisfero sinistro.⁷ Sebbene in tutti si osservi una certa partecipazione dell'emisfero destro nei compiti linguistici, soprattutto in quelli di comprensione-elaborazione, questa attività è maggiore nei mancini che nei destrimani.

5. Le basi genetiche del linguaggio

Un'architettura innata del SNC 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 ed organizzare direttamente lo sviluppo e le funzioni delle varie strutture, incluse quelle coinvolte nei processi linguistici. Il fatto

6 Alcuni esperimenti al riguardo sono stati compiuti su animali, come ad esempio le scimmie [7]. 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.

7 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 usassero il linguaggio, perché, nonostante le notevoli differenze in quoziente di encefalizzazione, anche le scimmie hanno un piccolo omologo dell'area di Broca.

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 Simon Fisher e collaboratori che riuscirono ad individuare 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 [4].

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 [9]. Tuttavia, altre analisi su soggetti affetti da SLD hanno indicato il coinvolgimento di altre regioni del cromosoma 16 e del 19 [14]. Questa discrepanza non sorprende, dato che SLD raggruppa un insieme di patologie eterogenee, 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%.

Da studi successivi, è stato 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 un altro studio è stata trovata una mutazione diversa dello stesso gene in 46 bambini in cui la disprassia si presenta isolata, confermando quindi le tesi di Fisher [11].

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, profetizzando che presto potremo essere in grado di costruire una «mappa genetica delle funzioni cognitive» più o meno direttamente a partire dai geni e dai loro prodotti proteici [12]. Anche i *media* hanno rilanciato la notizia sul "gene della grammatica" con notevole enfasi (si veda anche www.blogalileo.com/il-gene-del-linguaggio/).

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 di questi difetti 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 di *FOXP2* potrebbero essere secondari ai problemi motori, cioè della capacità di apprendimento del coordinamento fine, e, in particolare, del movimento oro-facciale, indispensabile 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. L'entusiasmo suscitato intorno all'idea che un singolo gene potesse essere responsabile dello sviluppo di una facoltà complessa come il linguaggio risulta, perciò, decisamente eccessivo.

6. *FOXP2* nelle altre specie

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 amminoacidi, uno dei quali risale 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 il gene *FoxP2* proveniente da pipistrelli che usano diversi sistemi per l'ecolocalizzazione, i ricercatori hanno trovato notevoli differenze, il che indicherebbe un ruolo del gene nello sviluppo di questa capacità. Questo ruolo potrebbe essere proprio nella coordinazione sensorimotoria delle aree oro-facciali per l'emissione dei suoni [10].

La ricerca sull'espressione di *FoxP2* degli uccelli, la cui sequenza è molto simile a quello 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. 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 [6].

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 [8].

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. Per esempio, la comprensione richiede numerose competenze, come la capacità di percepire il mondo esterno, le sensibilità sensoriali, le capacità di apprendimento e di elaborazione, in particolare, le 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, o 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 argomenti presentati si evince che gli studi genetici possono contribuire indiscutibilmente a fare luce su processi complessi, come quelli coinvolti nelle funzioni cognitive, 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 [2].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Abate, M. (2006) Come salvare vite e comprarsi le Seychelles usando la teoria della misura. in *Lezioni sotto la torre. Quando l'Università protesta*, a cura di M. Stampacchia M, P. Della Posta, J. Munat J e A. M. Rossi, pp 145-151, ETS, Pisa 2006.
- [2] Bishop, D.V.M., The role of genes in the etiology of specific language impairment, *J. Comun. Dis.*, 35, 2002, pp. 311–328.
- [3] Chomsky, N., *Le strutture della sintassi*, Laterza, Roma-Bari 1974 (ed. orig. in inglese, 1957).
- [4] Fisher, S. E., Vargha-Khadem, F., Watkins, K. E., Monaco, A. P., & Pembrey, M. E. (1998). Localization of a gene implicated in a severe speech and language disorder, *Nature Genetics*, 18, 1998, pp.168-170.
- [5] Fodor, J., *La mente modulare*. Il Mulino, Bologna 1999 (ed. orig. in inglese, 1983).
- [6] Haesler, S, Wada, K., Nshdejan, A., Morrisey, E. E., Lints, T., Jarvis, E. D., Scharff, C., FOXP2 expression in avian vocal learners and non-learners. *J. Neuroscience*. 24 (13), 2004, pp. 3164-75.
- [7] Harlow, H. F., Suomi, S. J., Social recovery by isolation-reared monkeys. *Proc Nat. Acad. Sci. U. S. A.* 68 (7), 1971, pp. 1534-8.
- [8] Karmiloff-Smith, A., The tortuous route from genes to behavior: a neuro-constructivist approach, *Cogn. Affect. Behav. Neuroscience*. 6 (1), 2006, pp. 9-17.
- [9] Lai, C.S., Fisher, S. E., Hurst, J. A., Vargha-Khadem, F., Monaco, A. P., A forkhead-domain gene is mutated in a severe speech and language disorder, *Nature*, 413 (6855), 2001, pp. 519–523.
- [10] Li, G., Wang, J., Rossiter, S. J., Jones, G., Zhang, S., Accelerated FOXP2 Evolution in Echolocating Bats. *PLoS ONE* 2 (9), 2007, e900.
- [11] MacDermot, K. D., Bonora, E., Sykes, N., Coupe, A. M., Lai, C. S., Vernes, S. C. et al., Identification of FOXP2 truncation as a novel cause of developmental speech and language deficits, *Am. J. Hum. Genet.* 76 (6), 2005, pp. 1074–1080.
- [12] Pinker, S., *The language instinct*. Penguin, London 1994.
- [13] Pinker, S., Talk of genetics and vice-versa, *Nature*, 413, 2001, pp. 465-466.
- [14] SLI Consortium, A genomewide scan identifies two novel loci involved in specific language impairment (SLI), *Am. J. Hum. Genet.*, 70, 2002, pp. 384–398.