

MARCO TETTAMANTI, *Il cervello sintattico*, Roma, Carocci Editore, 2020, pp. 127.

Uno dei più affascinanti misteri che la scienza cerca di risolvere è quello relativo al modo in cui l'uomo riesca a produrre e a comprendere sequenze di parole ordinate e dotate di senso. L'ipotesi di fondo è che nel cervello umano vi siano dei vincoli neurocomputazionali che regolano e strutturano la sintassi delle lingue umane. Di tutti ciò si occupa, con chiarezza espositiva e rigore scientifico, il libro scritto da Marco Tettamanti, docente di Psicobiologia e psicologia fisiologica all'Università di Trento, dal titolo *Il cervello sintattico*, che rientra all'interno della serie *Il cervello linguistico*, edita da Carocci e diretta da Mirko Grimaldi. Il libro si articola in quattro densi capitoli, preceduti da una *Premessa* e seguiti dalle *Note conclusive* e da una corposa *Bibliografia*.

Il primo capitolo, dal titolo «I legami tra le parole», fornisce gli strumenti necessari per poter affrontare le tematiche trattate nel resto del volume. Nello specifico, si occupa di illustrare i principi fondamentali e la terminologia di base della linguistica teorica, per poi introdurre i principali modelli psicolinguistici relativi alla computazione sintattica.

Le indicazioni metodologiche utili a comprendere le evidenze neuroscientifiche sui meccanismi neurali della sintassi, ivi compresi i principali modelli anatomo-funzionali dell'elaborazione sintattica ricavati da studi effettuati su soggetti sani e su pazienti con danno cerebrale attraverso la neuroimmagine, sono al centro del secondo capitolo «Neuroanatomia funzionale dei processi sintattici».

Il terzo capitolo, intitolato «Le funzioni neurocomputazionali della sintassi», si sofferma sulle diverse componenti neurocomputazionali, come la memoria e le capacità di apprendimento, che sono coinvolte a vario titolo nei processi di elaborazione sintattica.

Infine, il quarto capitolo, «Dal cervello alla sintassi: enigmi e sfide», evidenzia alcune delle maggiori sfide che le neuroscienze cognitive del linguaggio dovranno affrontare per comprendere quando e come sono sorte le abilità sintattiche nel processo evolutivo della specie umana.

Le proprietà sintattiche possono operare a corto raggio, vale a dire tra parole adiacenti, o a lunga distanza, sino a coinvolgere frasi disgiunte. Nel primo caso, il costituente di base è il sintagma, composto da una o più parole e dotato di senso compiuto, che può essere usato sia isolatamente sia come elemento di un enunciato più articolato. Il sintagma può essere nominale, verbale, aggettivale o proposizionale, a seconda della classe grammaticale della parola che risulta dominante tra quelle che lo costituiscono. Esso segue delle regole vincolanti circa l'ordine delle parole. In italiano, ad esempio, in un sintagma nominale, l'articolo precederà sempre il nome al quale è riferito. Quando più sintagmi si uniscono tra loro, subentra un ulteriore vincolo che è quello della struttura argomentale delle parole. La struttura argomentale ruota intorno al verbo, caratterizzato da quelle che chiamiamo "valenze". La valenza di un verbo individua il numero di legami che esso può stabilire con altri elementi affinché tutte le sue proprietà possano essere espresse. Abbiamo verbi aivalenti, che non richiedono, cioè, alcun ulteriore argomento, come nel caso del verbo "piovere"; verbi che prevedono un argomento, del tipo soggetto più verbo; verbi bivalenti, trivalenti, tetravalenti rispettivamente con due, tre o quattro argomenti, in base ai complementi che li accompagnano. Non si conoscono verbi con una valenza superiore a quattro. Per quanto concerne le relazioni a lunga distanza,

Lapis: Note e Testi

bisogna fare riferimento alla dipendenza dalla struttura sintattica. Una delle più importanti scoperte della linguistica teorica è stata quella della non linearità dell'ordine delle parole. Detto in altri termini, le lingue umane si articolano in una struttura multidimensionale e gerarchica che richiama le ramificazioni di un albero.

La cosa interessante da notare è che i principi che regolano l'organizzazione della struttura sintattica, tanto a breve quanto a lunga distanza, non sono arbitrari né inventati a tavolino. Piuttosto «emergono come conseguenza delle possibilità e modalità operative computazionali delle nostre facoltà cognitive. I gradi di libertà delle parole sono dunque un riflesso dei gradi di libertà del nostro cervello» (Ivi, p. 12). In effetti, sebbene non lineari, le relazioni sintattiche che si possono stabilire tra gli elementi che compongono la frase non sono libere o casuali, ma seguono norme ben precise. Questo vale universalmente per tutte le lingue, anche quelle dei segni. In realtà, il cervello umano può benissimo elaborare, apprendere e utilizzare regole sintattiche basate su principi lineari. L'adozione di architetture sintattiche non lineari è dovuta al fatto che la dipendenza dalla struttura gerarchica garantisce un maggiore livello di efficienza nella riduzione dell'ambiguità del codice comunicativo. Gli studi condotti sui processi cognitivi sottostanti all'elaborazione della frase, nell'ambito della psicolinguistica e della psicologia cognitiva, sembrano confermare l'ipotesi secondo cui il nostro cervello, nel ricevere le informazioni della frase, parola dopo parola, procede a mettere le parole in relazione tra loro, ricostruendone la struttura gerarchica sottostante, la struttura argomentale e le dipendenze a lunga distanza.

Il metodo di indagine privilegiato dalla psicolinguistica è la cronometria, che consiste nella misurazione del tempo necessario per l'elaborazione di un determinato stimolo. Gli stimoli che consentono risultati più apprezzabili sono le frasi con significato ambiguo. L'ambiguità può essere globale, cioè impossibile da superare in base alle informazioni contenute nella frase, o temporanea. Frasi temporaneamente ambigue sono definite *garden path*, in quanto inducono metaforicamente a incamminarsi lungo il viottolo di un giardino che poi si scopre essere senza uscita, costringendo l'ignaro passeggiatore a tornare indietro. La lettura di frasi temporaneamente ambigue procede più lentamente delle frasi non ambigue equivalenti. Peraltro, per accelerare la velocità dell'elaborazione del linguaggio, siamo portati ad anticipare la costruzione sintattica prima di avere a disposizione tutti gli elementi necessari. Questo può indurci in errore, soprattutto nel caso di frasi ambigue. Nonostante ciò, privilegiare una struttura anziché un'altra è una strategia che si è dimostrata vincente, in quanto i casi ambigui si riscontrano con una frequenza molto minore rispetto a quelli non ambigui.

Ma come avviene la computazione sintattica?

Le principali teorie sono due: la teoria del *garden path* e le teorie basate sui modelli *constraint-based*. La prima prevede due diverse fasi di elaborazione della struttura sintattica: dapprima si analizza la categoria grammaticale di ciascuna parola computando in modo incrementale la struttura di dipendenze nell'albero sintattico, per poi computare il ruolo semantico e il significato della parola. In tal modo, il sistema cognitivo elaborerebbe una sola struttura sintattica per volta, seguendo il principio della semplicità, vale a dire privilegiando le strutture sintattiche più semplici. I modelli *constraint-based*, invece, riconoscono un'unica fase, con la potenziale attivazione in parallelo di strutture sintattiche alternative. Viene preferita l'interpretazione che risulta più probabile. Più le probabilità si equivalgono, più l'elaborazione è difficile e lenta. In caso di ambiguità, i modelli *constraint-based* non prevedono alcuna revisione della struttura, in quanto le alternative, seppur poco probabili, sono attivate sin dall'inizio.

Neuroscienze cognitive e neurobiologia del linguaggio hanno svelato alcuni dei meccanismi neurali che soggiacciono all'elaborazione della struttura sintattica. Tra le metodiche maggiormente utilizzate vi sono l'elettroencefalogramma (EEG), l'imaging con la risonanza magnetica (MRI), la *functional MRI* (fMRI), la PET (*Positron Emission Tomography*), la NIRS (*Near-Infrared Spectroscopy*), la DTI (*Diffusione Tensor Imaging*), ecc. Sulla scorta dell'analisi di polarità, latenza e ampiezza delle variazioni di potenziale evento-relato (ERP, *Event-Related Potential*), è possibile scomporre i processi neurali in fase temporali successive di elaborazione. Va precisato che molti degli studi sui processi neurali della sintassi si sono concentrati sulla comprensione più che sulla produzione. Tuttavia, essi possono gettare luce anche sulla produzione linguistica, poiché sia la comprensione sia la produzione si basano su processi neurocomputazionali comuni, anche se le rispettive fasi di elaborazione sono speculari. Uno stimolo uditivo determina una variazione di potenziale di polarità positiva con una latenza di circa 100 ms. Si tratta di una risposta legata all'elaborazione precoce degli stimoli sensoriali nelle cortecce primarie alla quale si assegna il nome convenzionale di P100. Lo studio delle variazioni tra le risposte elettrofisiologiche indotte da frasi corrette e frasi con delle violazioni semantiche ha portato a individuare, nel secondo caso, una negatività di potenziale elettrico che raggiunge la massima ampiezza a una latenza di circa 400 ms, indicata come N400. In frasi con violazione della struttura del sintagma, sono state rilevate due componenti: la ELAN (*Early Left Anterior Negativity*), un'onda negativa precoce con un picco di massima ampiezza tra i 100 e i 300 ms dalla comparsa della parola critica, e la P600, un'onda positiva con un picco di latenza più tardivo. Quest'ultima può essere prodotta da violazioni di varia natura. Essa sembrerebbe causata dalla computazione delle relazioni di dipendenza sintattica tra le parole della frase e del loro posizionamento all'interno dell'albero sintattico. Alcuni aspetti di dipendenza sintattica, come i morfemi di accordo tra il verbo e i suoi argomenti, potrebbero essere elaborati ancora prima, come dimostrerebbe un'onda negativa con distribuzione anteriore sinistra, la cosiddetta LAN (*Left Anterior Negativity*), tra i 300 e i 500 ms. Da qui l'ipotesi che una parte significativa dei processi di computazione delle relazioni sintattiche inizi con la LAN, già a 300 ms dalla comparsa della parola, e che poi prosegua con la P600 e l'integrazione delle informazioni sintattiche con quelle semantiche e prosodiche. Infine, la P600 potrebbe essere legata ai processi di rianalisi e riparazione necessari in presenza di errori grammaticali o di una incompatibilità di fondo tra l'albero di dipendenze sintattiche sino a quel momento elaborato e la prosecuzione della frase. Da questo punto di vista, la P600 dimostra una certa coerenza con i modelli di elaborazione sintattica in due fasi, come le teorie *garden path*. La ELAN, invece, caratterizzerebbe una primissima fase di processazione, quella in cui viene elaborata la griglia delle dipendenze sintattiche, partendo dalla categoria grammaticale di ciascuna parola. Dal punto di vista cronologico, si può affermare che i principali processi di computazione sintattica avvengano all'interno di un arco temporale relativamente breve.

Resta aperto il problema di dove avvengano tali processi. In altri termini: quali sono i correlati neuroanatomici dei processi sintattici?

A lungo si è pensato che tali processi avvenissero nell'area di Broca. Si riteneva che la produzione del linguaggio fosse localizzata nell'area di Broca, mentre la sua comprensione avvenisse nell'area di Wernicke. In realtà, si è visto come l'area di Broca sia coinvolta in una varietà di funzioni cognitive, dall'osservazione e imitazione di azioni motorie alla memoria di lavoro e alla processazione della musica.

Lapis: Note e Testi

Contestualmente si è osservato come la computazione della struttura sintagmatica coinvolga una vasta area dell'emisfero sinistro, in particolar modo la corteccia perisilviana, la regione del giro frontale inferiore e una fascia della corteccia del lobo temporale, ma anche i fasci di sostanza bianca che collegano le diverse aree interessate.

Tornando alla memoria di lavoro, è opportuno evidenziare come, per stabilire e decodificare relazioni a distanza tra gli elementi di una frase, sia necessario tenere tali elementi momentaneamente in memoria. La memoria di lavoro e la memoria a breve termine non sono la stessa cosa, in quanto la prima, a differenza della seconda, presuppone la manipolazione delle informazioni immagazzinate e non solo il loro mantenimento attivo. Quando parliamo di elaborazione sintattica, la memoria che entra in ballo è quella di lavoro, anche se, al momento, non è possibile stabilire con chiarezza il suo ruolo.

Un aiuto a comprendere meglio i meccanismi cognitivi e neurali del linguaggio ci proviene dallo studio delle grammatiche artificiali che permette di comprendere meglio il modo in cui il nostro cervello acquisisce ed elabora il linguaggio. Si è potuto constatare, così, come sia più semplice apprendere una lingua (anche artificiale) qualora vi siano delle regolarità, anche senza essere in grado di verbalizzare o riferire in modo esplicito il sistema di regole in questione.

Resta aperta la questione relativa all'acquisizione del linguaggio in fasi molto precoci dello sviluppo. Il sistema uditivo inizia a funzionare ancor prima della nascita, intorno al sesto-settimo mese di gestazione, dimostrando una particolare sensibilità per la voce materna. Il neonato è in grado di rilevare regolarità statistiche in sequenze di suoni sillabici dopo appena due minuti di esposizione sin dai primi giorni. La capacità di codificare regolarità non adiacenti emerge solo attorno ai sette mesi. Le abilità linguistiche si affinano progressivamente, raggiungendo un grado sempre maggiore di complessità. La comprensione sintattica di frasi semplici si manifesta già tra i 2 e i 4 anni, anche se frasi con struttura sintattica più complessa non vengono comprese prima degli 8-9 anni.

Altra questione irrisolta è quella riguardante la presenza di abilità sintattiche in specie non umane. Due sono le ipotesi che si scontrano: l'ipotesi di continuità, che riduce le differenze tra abilità comunicative umane e non umane al piano quantitativo; l'ipotesi di discontinuità, secondo la quale il linguaggio umano, in quanto manifestazione di una frattura evolutiva tra uomini e animali, è qualitativamente differente rispetto ai sistemi di computazione di altre specie.

Benché siano state rilevate abilità sintattiche semplici in alcune specie di primati, cetacei e uccelli, «il punto fondamentale in ultima analisi rimane che in specie non umane non è mai stato osservato l'apprendimento spontaneo di strutture sintattiche gerarchiche, suggerendo fortemente come il cervello umano debba possedere tratti neurocomputazionali distintivi (quantitativamente e qualitativamente) che permettano la codifica di dipendenze dalla struttura gerarchica» (Ivi, p. 113).

Se si abbraccia l'ipotesi di continuità evolutiva del linguaggio, si deve ritenere che le abilità sintattiche siano il risultato di un processo di selezione di caratteristiche naturali adattive. Per contro, i sostenitori dell'ipotesi di discontinuità sostengono che il tempo trascorso dalla comparsa dei primi ominidi a quella del linguaggio non sia sufficiente a far sì che nell'uomo fossero sorte capacità linguistiche semplicemente sotto la spinta dei processi adattivi. Sistemi di comunicazione animale e linguaggio umano non sarebbero qualitativamente riconducibili gli uni all'altro. La differenza potrebbe averla fatta un virus o un batterio. «Una proposta che vorrebbe tenere salda la discontinuità computazionale e nel contempo offrire una soluzione su base

biologica, prevede che il salto evolutivo possa essere stato causato da un'infezione virale o batterica che, introducendo modifiche genetiche o epigenetiche nella specie umana o nei suoi antenati più prossimi, avrebbe permesso lo sviluppo di un cervello più grande, con per l'appunto facoltà linguistiche» (Ivi, p. 114).

Nell'ambito dell'evoluzione sintattica, in mancanza di dati concernenti i nostri antenati preistorici, non si può che procedere per ipotesi basate sulla probabilità. Su questo fronte, sono state aperte tre linee di ricerca: studi di deduzione, di ricapitolazione e di simulazione del processo evolutivo del linguaggio. I primi ritengono che, dalla capacità di scambiarsi segnali semplici tra gli ominidi, si sia evoluta, passando per uno stadio intermedio, una protosintassi, per giungere progressivamente alla sintassi vera e propria. Il passaggio da un codice sintattico lineare a uno con struttura gerarchica sarebbe stato determinato dalla pressione selettiva prodotta dall'aumento di numero e complessità dei concetti nel vocabolario. La struttura gerarchica, infatti, consente di combinare gli elementi della lingua in modo potenzialmente infinito, anziché introdurre nuove parole. Secondo gli studi di ricapitolazione, invece, ci sarebbero dei casi in cui l'evoluzione del linguaggio potrebbe essere ricapitolata in modo spontaneo nel giro di pochi anni o di alcune generazioni. Un esempio concreto può essere quello delle lingue pidgin e creole. Le lingue pidgin nascono dalla mescolanza di lingue diverse quando i rispettivi parlanti entrano in contatto, solitamente per migrazione o scambi commerciali. Si tratta, alla stregua della protosintassi, di lingue semplici, con un vocabolario limitato, una grammatica semplificata, priva di flessioni e declinazioni. L'evoluzione di tali lingue, dovuta ai diretti discendenti dei parlanti di una lingua pidgin, porta alla nascita delle lingue creole, con una complessità grammaticale e lessicale pienamente sviluppata. È pur vero che, in questi casi, si tratta di uomini contemporanei, con un sistema neurocognitivo maturo e che padroneggiano la propria lingua madre, le cui strutture sarebbero state proiettate nella lingua creola. Per quanto concerne il terzo tipo di studi, recenti ricerche hanno simulato processi di trasmissione del linguaggio da una generazione all'altra, basati sull'apprendimento di grammatiche artificiali. Si è visto come nel passaggio generazionale sia stata inserita progressivamente e inconsapevolmente una struttura sintattica nella lingua artificiale. In tal modo, si riducevano gli errori e si garantiva una più accurata trasmissione della lingua. «Tutte e tre le direzioni di ricerca discusse (deduzione, ricapitolazione, simulazione) convergono quindi nel dimostrare un progressivo incremento della struttura sintattica nell'evoluzione del linguaggio» (Ivi, p. 118).

Benché le domande in attesa di risposta siano ancora tante, *Il cervello sintattico* riesce a trasmettere, anche a un lettore digiuno di linguistica, neurolinguistica e discipline affini, il fascino e l'importanza degli studi sui meccanismi neurofisiologici e neurocomputazionali alla base della struttura sintattica.

Alberto Nutricati
alberto.nutricati@gmail.com