

L'argomento della lezione

In questa lezione, parliamo delle

- capacità sintattiche degli animali.

Prima di affrontare questo argomento, tuttavia, riassumiamo brevemente alcune delle osservazioni che abbiamo fatto nelle lezioni precedenti.

L'infinita delle lingue naturali umane

Abbiamo visto che le lingue naturali umane hanno un numero infinito di frasi, formate a partire da un vocabolario finito attraverso regole che consentono di combinare tra loro le parole di questo vocabolario (regole sintattiche).

Abbiamo visto inoltre che le lingue naturali hanno un numero infinito di frasi della forma *se... , allora... e o...o...*

In queste frasi, a ogni occorrenza di *se* deve corrispondere un'occorrenza non adiacente di *allora* e a ogni occorrenza di *o* deve corrispondere un'altra occorrenza non adiacente di *o*.

Capacità generative delle grammatiche regolari

Abbiamo visto che le grammatiche regolari sono in grado di generare un numero infinito di frasi. Per esempio, possono generare il linguaggio che consiste nell'insieme di tutte le stringhe $(ab)^n$, per ogni numero $n \geq 1$.

Tuttavia, abbiamo visto anche che le grammatiche regolari non sono in grado di generare certi linguaggi, che invece possono essere generati dalle grammatiche *context-free* non regolari.

Per esempio, anche limitando il vocabolario a poche parole, le grammatiche regolari, al contrario di quelle *context-free* che non sono regolari, non sono in grado di generare l'insieme infinito di frasi dell'italiano della forma *se... , allora... e o...o...*

In termini più astratti, le grammatiche regolari, al contrario di quelle *context-free* non regolari, non sono in grado di generare il linguaggio che consiste esattamente nell'insieme di tutte le stringhe $a^n b^n$, per ogni numero $n \geq 0$.

Capacità di riconoscimento degli automi finiti

Abbiamo visto inoltre che alle limitazioni delle *capacità generative* delle grammatiche regolari corrispondono le limitazioni delle *capacità di riconoscimento* degli automi finiti.

Gli automi finiti sono in grado di accettare l'insieme di tutte le stringhe $(ab)^n$, per ogni numero $n \geq 1$.

Ma non sono in grado di accettare l'insieme infinito di frasi dell'italiano della forma *se... , allora... e o...o...*

In termini più astratti, gli automi finiti non sono in grado di accettare il linguaggio che consiste esattamente nell'insieme di tutte le stringhe $a^n b^n$, per ogni numero $n \geq 0$.

Conclusioni

In base alle osservazioni precedenti, abbiamo tratto queste conclusioni:

- le grammatiche delle lingue naturali umane *non* sono regolari, ma devono avere almeno il potere generativo di una grammatica *context-free*;
- gli esseri umani sono in grado di padroneggiare delle grammatiche *context-free* (non regolari).

Le capacità sintattiche degli animali

produzione

Qualche lezione fa, abbiamo visto alcuni esempi di sistemi di segnalazione che gli animali usano spontaneamente in natura. Per esempio, abbiamo visto il sistema di segnali di allarme dei *vervet*.

Ora, mentre le vocalizzazioni dei *vervet* permettono di esprimere informazioni precise sul tipo di predatore che viene avvistato, le *possibilità di combinazione* di queste vocalizzazioni, per quel che ne sappiamo, sono abbastanza ridotte. I *vervet* possono eseguire questi segnali di allarme ripetutamente e le cose finiscono lì.

Nel capitolo dal titolo *Pettegolezzi sull'arca*, Hauser riporta tuttavia diversi casi di animali (balene, uccelli, scimmie del nuovo mondo) che esibiscono capacità sintattiche più complesse dal punto di vista della produzione dei suoni. Vale a dire, questi animali emettono delle sequenze di suoni complesse e le combinazioni possibili di suoni sembrano essere governate da regole.

Il caso della cincia



“Mentre vola di ramo in ramo, [la cincia bigia nordamericana (*Poecile atricapilla*)] produce un richiamo di quattro note. Le quattro note, chiamate A, B, C e D, sono sempre prodotte in questa sequenza. La variabilità, tuttavia, emerge quando in una sequenza le note sono ripetute o omesse, con la conseguenza che alcuni richiami sono lunghi e altri brevi. Inoltre, tutti i richiami tendono finire con almeno una nota D.

Analizzando un vasto *database* di suoni, gli zoologi Jack Hailman, Millicent Ficken e Robert Ficken hanno scoperto che le due sequenze più comuni erano AD e BCD, con l'opzione di ripetere uno o più tipi di note in una sequenza, come AADD o BCCDD. Alcune sequenze non occorre mai o capitava solo di rado. Per esempio, la nota D non era mai seguita da altre note, e la nota C non era mai seguita dalla sequenza BA. Questo suggerisce che il cervello della cincia limita il modo in cui questi quattro tipi di note discrete sono disposti. Nei limiti imposti da queste condizioni, le cincie hanno un sistema combinatorio aperto che gli permette di generare un numero virtualmente illimitato di tipi di richiami attraverso la ripetizione o l'omissione di note.”
da M. Hauser, *Menti selvagge*.

Possibilità combinatorie governate da regole

In altre parole, le vocalizzazioni della cincia bigia nordamericana sembrano essere governate da una grammatica che determina quali sequenze di note sono possibili e quali no.

In modo analogo, le grammatiche formali che abbiamo studiato generano certe sequenze di simboli e non altre.

La grammatica della cincia bigia genera, ad esempio, queste sequenze:

ABCD
AD
BCD
AADD
BCCDD

Ma non genera queste sequenze:

ABCDC
ADC
CBAD

Domande naturali

Alla luce di queste osservazioni, viene naturale chiedersi:

- che tipi di regole sintattiche sono in grado di usare gli animali? Che tipo di grammatica possono padroneggiare? Che tipi di linguaggi sono in grado di riconoscere?

Iniziando dai primati

W. T. Fitch e M. Hauser hanno iniziato a investigare le questioni precedenti in un articolo pubblicato su *Science* nel 2004.

L'animale che hanno scelto di studiare è un primate non umano: il *tamarino dal ciuffo bianco* (*cotton top tamarin*).

Tamarino dal ciuffo bianco



Tamarino dal ciuffo bianco

profilo



Il tamarino dal ciuffo bianco (*saguinus oedipus*) vive oggi in una piccola area del nord-ovest della Colombia. Il suo *habitat* naturale è la foresta tropicale. È stato dichiarato in pericolo di estinzione nel 1973. I tamarini hanno la tendenza ad ammalarsi di tumore al colon e per questo, tra il 1960 e il 1975, da 30.000 a 40.000 tamarini sono stati esportati negli Stati Uniti per essere usati nella ricerca biomedica su questo tipo di tumore. Oggi, la loro sopravvivenza è minacciata soprattutto dalla deforestazione e dal commercio illegale di animali da compagnia.

Savage (1990) stima che esistano tra i 300 e i 200 tamarini dal ciuffo bianco in Colombia. Savage et al. (1997) riporta che ci sono 1800 tamarini dal ciuffo bianco in cattività, di cui il 64% si trova in laboratori di ricerca.

Perché i tamarini?

Torniamo a Fitch e Hauser. Perché hanno scelto i tamarini per la loro indagine?

Studi precedenti hanno dimostrato che i tamarini sono abili a distinguere stimoli linguistici (attraverso il canale uditivo).

Per esempio, sono in grado di distinguere tra loro i suoni di linguaggi non familiari. Vediamo come questa abilità è stata scoperta.

Ciucci e altri accorgimenti

Ramus et al. (2000) hanno condotto un esperimento sui tamarini e i bambini appena nati facendogli ascoltare delle frasi del giapponese e delle frasi dell'olandese.

I soggetti venivano esposti a un certo numero di frasi di una delle due lingue finché si 'abituavano'. Nel caso dei bambini appena nati, 'l'abituazione' veniva segnalata dal fatto che, mentre da principio l'esposizione alle frasi della lingua non familiare catturava la loro attenzione producendo un incremento delle succhiate, da un certo punto in poi le succhiate diminuivano. Nel caso dei tamarini, 'l'abituazione' veniva segnalata dal fatto che, mentre da principio l'esposizione alle frasi della lingua non familiare catturava la loro attenzione inducendoli a voltarsi verso gli altoparlanti, da un certo punto in poi smettevano di voltarsi o si voltavano molto meno.

A questo punto, dopo che si erano 'abituati' alle frasi di una lingua, sia ai bambini che ai tamarini venivano fatte ascoltare delle frasi dell'altra lingua. Entrambi si 'disabituavano' immediatamente (i bambini ciucciavano significativamente di più e i tamarini tornavano a voltarsi verso gli altoparlanti). Questo suggerisce che i tamarini, così come i bambini di pochi giorni, sono in grado di identificare alcuni dei tratti acustici che distinguono un linguaggio da un altro.

(Per inciso, né i bambini né i tamarini si 'disabituavano' se le frasi delle due lingue venivano riprodotte all'indietro. Questo indica che, per discriminare, usavano proprietà specifiche del linguaggio, piuttosto che proprietà acustiche indipendenti dal linguaggio.)

L'esperimento di Fitch e Hauser

Lo scopo di Fitch e Hauser è quello di capire che tipo di grammatica i tamarini possono padroneggiare.

Per raggiungere questo scopo, questi studiosi hanno costruito due linguaggi: uno generato da una grammatica regolare e l'altro generato da una grammatica *context-free* non regolare. Il linguaggio generato dalla grammatica *context-free* che hanno scelto non può essere generato da una grammatica regolare.

Poi hanno cercato di determinare se i tamarini sono in grado di individuare delle violazioni delle regole di queste grammatiche.

Vediamo come hanno fatto.

La procedura di abituazione e il test

Fitch e Hauser hanno fatto ascoltare ai tamarini delle frasi generate da una delle due grammatiche finché i tamarini si sono 'abituati' (cioè, finché hanno smesso di voltarsi verso gli altoparlanti che emettevano le frasi).

A questo punto, gli hanno fatto ascoltare o un'altra frase generata dalla stessa grammatica oppure una frase che non era generata da quella grammatica, ma dall'altra (cioè, una frase che violava le regole della grammatica a cui erano 'abituati').

L'idea

L'idea su cui si basa il test è questa:

- supponiamo che, quando i tamarini sentono una frase della grammatica a cui non sono abituati, si voltino verso gli altoparlanti molto più spesso di quanto si voltano se sentono una frase della grammatica a cui sono abituati; questo indica che sono in grado di percepire che certe frasi violano le regole della grammatica a cui sono abituati;
- supponiamo invece che, quando i tamarini sentono una frase della grammatica a cui non sono abituati, si voltino verso gli altoparlanti tanto spesso quanto si voltano se sentono una frase della grammatica a cui sono abituati; questo indica che non sono in grado di percepire che certe frasi violano le regole della grammatica a cui sono abituati.

Quali grammatiche?

Quali sono le grammatiche usate nell'esperimento?

Fitch e Hauser si limitano a descrivere i linguaggi da cui provengono le frasi a cui i tamarini sono stati esposti, senza specificare delle grammatiche per questi linguaggi.

Qui, tuttavia, cercheremo di essere più espliciti e presenteremo due grammatiche per questi linguaggi.

Si tratta di due grammatiche piuttosto semplici basate sullo stesso alfabeto di simboli terminali, ma con regole diverse (una grammatica è regolare, l'altra è *context-free* non regolare).

Una grammatica regolare

$G_r = (V_T, V_N, S, R)$, dove

- V_T (l'alfabeto terminale) è l'insieme di sillabe {**di,ba,la,wu,no,yo,mi,tu,li,pa,bi,mo,gu,do,ka,nu**}
- V_N (l'alfabeto non terminale) è l'insieme {S,B}
- S è il simbolo iniziale
- R è l'insieme di regole seguente:

S → di B	S → ba B	S → la B
S → wu B	S → no B	S → yo B
S → tu B	S → mi B	B → liS
B → paS	B → biS	B → moS
B → guS	B → doS	B → kaS
B → nuS	S → e	

Una grammatica context-free (non regolare)

$G_{cf} = (V_T, V_N, S, R)$, dove

- V_T (l'alfabeto terminale) è l'insieme di sillabe {**di,ba,la,wu,no,yo,mi,tu,li,pa,bi,mo,gu,do,ka,nu**}
- V_N (l'alfabeto non terminale) è l'insieme {S,A,B}
- S è il simbolo iniziale
- R è l'insieme di regole seguente:

S → ASB	S → e	A → di
A → ba	A → la	A → wu
A → no	A → yo	A → tu
A → mi	B → li	B → pa
B → bi	B → mo	B → gu
B → do	B → ka	B → nu

L'alfabeto terminale

L'alfabeto terminale delle due grammatiche è un insieme di sillabe:

{**di,ba,la,wu,no,yo,mi,tu**,li,pa,bi,mo,gu,do,ka,nu}

Nell'esperimento, le sillabe in grassetto, che nella grammatica *context-free* vengono usate per riscrivere il simbolo non terminale A, sono pronunciate da una donna e le sillabe non in grassetto, che vengono usate per riscrivere il simbolo non terminale B, sono pronunciate da un uomo. In questo modo, i due tipi di sillabe erano chiaramente distinguibili in quanto hanno altezze diverse.

Chiamiamo *sillabe di tipo A* le sillabe in grassetto, che nella grammatica *context-free* vengono usate per riscrivere il simbolo non terminale A. Chiamiamo *sillabe di tipo B* le sillabe non in grassetto, che vengono usate per riscrivere il simbolo non terminale B.

Se abbiamo una sequenza di sillabe che inizia con una sillaba di tipo A seguita da una sillaba di tipo B diremo che la sequenza è di forma AB. Se abbiamo una sequenza di sillabe che inizia con una sillaba di tipo A seguita da una sillaba di tipo B, seguita da una sillaba di tipo A, seguita da una sillaba di tipo B, diremo che la sequenza è di forma ABAB. Se abbiamo una sequenza di sillabe che inizia con una sillaba di tipo A seguita da una sillaba di tipo A, seguita da una sillaba di tipo B, seguita da una sillaba di tipo B, diremo che la sequenza è di forma AABB. E via dicendo.

Linguaggi generati

Entrambe le grammatiche precedenti generano un numero infinito di stringhe.

La grammatica regolare genera tutte le stringhe di terminali di forma AB, ABAB, ABABAB, ...

La grammatica *context-free* genera tutte le stringhe di terminali di forma AB, AABB, AAABBB, ...

È possibile dimostrare (anche se non lo faremo qui) che il linguaggio generato da questa grammatica *context-free* non può essere generato da una grammatica regolare.

Esempi di stringhe usate nel test

Per il *test* sui tamarini, Fitch e Hauser hanno usato stringhe che contengono due o tre sillabe per ogni tipo (A e B).

Questi sono esempi di stringhe usate nel *test* che sono generate dalla grammatica regolare precedente:

- (1) **no** li **ba** pa (ABAB)
 la pa **wu** mo **no** li (ABABAB)

Questi sono invece esempi di stringhe usate nel *test* che sono generate dalla grammatica *context-free* precedente, ma non dalla grammatica regolare precedente:

- (2) **yo la** pa do (AABB)
 ba la tu li pa ka (AAABBB)

Controllo

Come soggetti di controllo sono stati usati degli studenti universitari (umani) non ancora laureati.

I soggetti sono stati sottoposti agli stessi stimoli acustici dei tamarini: sia alle frasi usate per 'abituare' i tamarini a una grammatica (frasi di 'abituazione') che alle frasi a cui i tamarini sono stati esposti dopo l'abituazione (frasi *test*).

Dopo ogni frase test, è stato chiesto agli studenti se la frase era dello stesso tipo o di tipo diverso rispetto alle frasi precedenti.

Risultati

Dopo che i tamarini sono stati abituati alla grammatica regolare, è accaduto questo: nei casi in cui hanno sentito una frase che non era generata dalla grammatica regolare si sono voltati verso gli altoparlanti molto più spesso che nei casi in cui hanno sentito una frase che era generata dalla grammatica regolare.

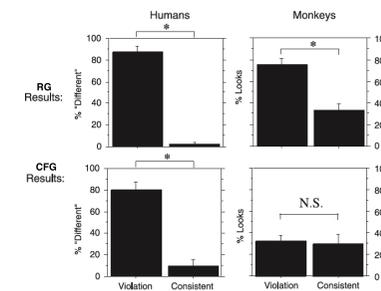
Dopo che i tamarini sono stati abituati alla grammatica *context-free*, è accaduto questo: si sono voltati verso gli altoparlanti più o meno lo stesso numero di volte sia nei casi in cui hanno sentito una frase che non era generata dalla grammatica *context-free* che nei casi in cui hanno sentito una frase che era generata dalla grammatica *context-free*.

Gli studenti, invece, hanno correttamente identificato le violazioni sia dopo essere stati abituati alle frasi della grammatica regolare che dopo essere stati abituati alle frasi della grammatica *context-free*.

Rappresentazione grafica

Gli istogrammi inferiori riguardano il caso in cui tamarini e umani sono stati abituati alle frasi della grammatica *context-free*; gli istogrammi superiori il caso in cui tamarini e umani sono stati abituati alle frasi della grammatica regolare.

La colonna 'violation' indica la percentuale di volte in cui i tamarini si sono voltati (e gli umani hanno indicato che si trattava di una frase di tipo diverso) quando hanno udito una frase che violava le regole della grammatica; la colonna 'consistent' indica la percentuale di volte in cui i tamarini si sono voltati (e gli umani hanno indicato che si trattava di una frase di tipo diverso) quando hanno udito una frase che non violava le regole della grammatica.



Spiegazione dei dati

- Secondo Fitch e Hauser, i dati precedenti indicano che i tamarini percepiscono le violazioni della grammatica regolare G_r ; ma, a differenza degli esseri umani, non percepiscono le violazioni della grammatica *context-free* G_{cf} .
- Fitch e Hauser ipotizzano che questa differenza tra tamarini ed esseri umani dipende dal fatto che i tamarini, a differenza degli esseri umani, non sono in grado di padroneggiare una grammatica *context-free*, per quanto semplice.

Arrivano gli storni



Nel 2006, due anni dopo la pubblicazione del lavoro di Hauser e Fitch, è stato pubblicato su *Nature* un lavoro di Gentner et al. che indaga le capacità di riconoscimento sintattico di una specie più lontana dall'uomo: lo storno (*sturnus vulgaris*). I risultati riportati in questo studio sono sorprendenti. Ecco come li riassume G. F. Marcus nell'editoriale di *Nature* del 27 Aprile 2006:

[Gentner et al. (2006) hanno condotto un esperimento in cui] premiavano degli storni europei perché premessero una barra in risposta a stringhe della forma $A^n B^n$ di suoni generati artificialmente a partire da note che gli storni emettono, come *rattle rattle* e *warble warble*, e negavano invece la ricompensa per risposte alla grammatica $(AB)^n$ (e viceversa, per un altro gruppo di storni). Benché l'apprendimento non sia stato istantaneo, nove uccelli su undici alla fine (dopo 10.000-50.000 tentativi) hanno imparato a discriminare in modo sicuro tra le due grammatiche, riuscendo così dove le scimmie avevano fallito. . . . Benché ci siano alcune difficoltà minori, queste sono prove forti che gli esseri umani non sono i soli ad essere in grado di riconoscere [i linguaggi *context-free*].

Voci di dissenso

Alcuni ricercatori (Kochanski 2004, Liberman 2004, Perruchet e Rey 2005) hanno però obiettato alle conclusioni di Fitch e Hauser e di Gentner et al.

Questi ricercatori sostengono che i dati ottenuti attraverso gli esperimenti che abbiamo descritto possono essere spiegati diversamente.

Vediamo come.

Un'osservazione importante

La spiegazione alternativa dei dati ottenuti da Fitch e Hauser si basa sull'osservazione seguente.

Le stringhe di forma (i), come abbiamo visto, differiscono dalle stringhe di forma (ii) in quanto quelle di forma (i) sono generate da una grammatica regolare, mentre quelle di forma (ii) sono generate da una grammatica *context-free* (non regolare):

(i) ABAB
ABABAB

(ii) AABB
AAABBB

Ma queste stringhe differiscono anche per un altro aspetto: le stringhe di forma (ii) contengono un sola transizione da sillabe di tipo A (emesse da una femmina) a sillabe di tipo B (emesse da un maschio); invece, le stringhe di forma (i) contengono due o tre transizioni da sillabe di tipo A (emesse da una femmina) a sillabe di tipo B (emesse da un maschio).

Vediamo ora com'è possibile proporre una spiegazione alternativa dei dati di Fitch e Hauser.

La spiegazione alternativa

Il comportamento degli esseri umani

Secondo Fitch e Hauser, gli esseri umani che vengono 'abituati' alle stringhe di forma (ii) riconoscono che quelle di forma (i) sono diverse in quanto comprendono che le stringhe di forma (i) non sono generate dalla grammatica *context-free* che genera le stringhe di forma (ii):

(i) ABAB
ABABAB

(ii) AABB
AAABBB

Ma il comportamento degli esseri umani nel test potrebbe essere spiegato, più semplicemente, dal fatto che hanno *contato le transizioni*: dopo esser stati abituati alle stringhe di forma (ii), hanno percepito le stringhe di forma (i) come diverse perché le stringhe di forma (i) contengono più di una transizione da A a B, mentre le stringhe di forma (ii) ne contengono solo una. (Per la stessa ragione gli esseri umani riconoscono le stringhe in (ii) come diverse dopo essere stati abituati a quelle in (i)).

(Perruchet e Rey hanno fatto un esperimento che sembra favorire questa seconda interpretazione).

Perché i tamarini non ce la fanno?

Se gli esseri umani discriminano tra (i) e (ii) in base al numero di transizioni da sillabe di tipo A a sillabe di tipo B e non in base alla grammatica che genera le stringhe, come si spiega il comportamento dei tamarini?

Perché i tamarini abituati a (i) riconoscono che le stringhe in (ii) sono di tipo diverso, mentre quando sono abituati a (ii) non riconoscono che le stringhe in (i) sono di tipo diverso?

(i) ABAB
ABABAB

(ii) AABB
AAABBB

La spiegazione alternativa

Il comportamento dei tamarini

Perruchet e Rey propongono questa spiegazione alternativa del comportamento dei tamarini nel test (si rammenti che i tamarini hanno udito le stringhe per mezzo di altoparlanti, senza vedere gli umani):

le stringhe AAABBB [usate da Hauser e Fitch) suonano molto più simili a un lingua naturale umana delle successioni di sillabe... che compongono le stringhe ABABAB. Questo può spiegare perché i tamarini si sono orientati selettivamente verso gli altoparlanti quando hanno sentito AAABBB dopo essere stati familiarizzati con l'altra struttura. L'opposto non è accaduto perché probabilmente la "novità" introdotta da ABABAB non presentava alcun interesse potenziale (ad esempio, il nuovo suono non poteva fornire un indizio riguardo alla possibile presenza di esseri umani).
Perruchet e Rey (2005).

Una questione aperta

Abbiamo dunque a disposizione due ipotesi alternative.

Secondo Hauser e Fitch, il comportamento di esseri umani e tamarini nel test di riconoscimento dipende dalla loro capacità di padroneggiare regole grammaticali di tipo diverso. Secondo Gentner et al. il comportamento degli storni si spiega supponendo che sia storni che esseri umani siano in grado di padroneggiare grammatiche regolari e grammatiche *context-free*.

Secondo Perruchet e Rey, tamarini ed esseri umani fanno invece uso di proprietà che non hanno nulla a che fare con il tipo di grammatica: gli umani contano il numero di transizioni e i tamarini sfruttano la somiglianza con i suoni del linguaggio umano. L'ipotesi che la discriminazione tra i due tipi di stringhe avvenga contando il numero delle transizioni può spiegare inoltre il comportamento degli storni descritto da Gentner et al.

Al momento, rimane una questione aperta quale di queste ipotesi sia corretta.

Riassumendo

- Abbiamo presentato alcuni studi sulle capacità sintattiche degli animali.
- In particolare, abbiamo visto che le cincie bigie nordamericane producono sequenze di suoni governate da regole.
- Quindi, abbiamo visto alcuni studi sulle capacità di riconoscimento sintattico dei tamarini e degli storni.
- Abbiamo presentato alcune ipotesi per spiegare la capacità di questi animali di discriminare tra linguaggi di tipi diversi.