

## SGUARDI SULLE API

Le api sono meravigliose, nel senso che destano meraviglia, per le abilità che hanno pur con un cervello di un millimetro cubo e non oltre un milione di neuroni (il cervello umano ne ha circa 86 miliardi).

Sulle api sono stati fatti moltissimi studi e ne sono conseguite numerose pubblicazioni, sia scientifiche che divulgative. In rete si trovano video interessanti, che trattano le nozioni fondamentali, soprattutto in funzione dell'apicoltura. Le api hanno inoltre accompagnato la storia umana e compaiono in documenti che risalgono fino all'antico Egitto e persino in una pittura rupestre spagnola risalente a circa il 5.000 a.c.

Tratterò delle api in modo non sistematico, ma per argomenti scelti in funzione dei possibili collegamenti con vicende umane. Per api intendo gli esemplari della specie *apis mellifera*, quella a tutti nota per la produzione del miele (esistono al mondo circa 20.000 specie di api, la maggior parte delle quali non sociali bensì solitarie).

### 1) La socialità e il superorganismo.

Le api sono insetti sociali, vale a dire animali che formano colonie nelle quali cooperano per il bene della colonia e con compiti diversificati fra le varie caste e anche all'interno della casta delle operaie.

Cito (per la sua sinteticità e completezza) da Wikipedia (voce "Insetti sociali"):  
*"Nell'ape, la regina è l'unica femmina fertile dell'alveare. Le altre femmine, dette operaie, eseguono tutti i lavori necessari per la sopravvivenza della comunità: cura delle larve e della regina, costruzione e riparazione dell'alveare, raccolta di nettare e polline (api bottinatrici), produzione di miele, cera e pappa reale, difesa. La regina, più grossa, ha anche una vita più lunga di quella delle operaie (alcuni anni anziché pochi mesi). La sua unica occupazione è la deposizione delle uova (...). Essa produce un feromone che inibisce lo sviluppo degli organi riproduttori delle operaie. In caso di morte della regina, e se non esistono uova con età inferiore a tre giorni, una delle operaie sviluppa gli organi riproduttori e tenta di sostituire la regina anche se da lei nasceranno solo fuchi perché non è stata fecondata".*

Migliaia di api femmina lavorano tutto il tempo, per il bene dell'alveare nel suo complesso, senza mai dedicarsi alla riproduzione sessuale (fatto del tutto analogo accade nel caso delle formiche). Questo costituisce un'eccezione rispetto al comportamento animale ordinario, in cui la regola è che tutti gli individui - maschi e femmine - fanno del loro meglio per potersi riprodurre, e quindi per avere una progenie che tramandi il proprio patrimonio genetico (fra un genitore e il figlio il coefficiente di consanguineità è del 50%). Questa istanza fondamentale è anche uno dei cardini della teoria dell'evoluzione.

Come è possibile che si sia evoluto un comportamento sessuale come quello delle api (apparentemente svantaggioso per le api operaie)? Negli anni 60 del '900 si era affermata una spiegazione accattivante, che poneva l'attenzione sul fatto (comunque notevole) che i fuchi nascono da uova non fecondate mentre le api femmina da uova fecondate. La regina durante il suo unico volo nuziale incamera in un apposito apparato chiamato spermateca tutti gli spermatozoi derivanti dai suoi accoppiamenti con i fuchi (una decina, o anche di più). Poi, una volta rientrata nell'alveare, per qualche anno la regina deposita uova, con la possibilità (prima della deposizione) di farle fecondare (con nascita di femmine) o meno (con nascita di maschi).

Da questo consegue che: (i) i fuchi sono aploidi, vale a dire hanno un solo filamento cromosomico e la metà del patrimonio genetico ordinario; (ii) il fuco che feconda la regina (peraltro morto in conseguenza della fecondazione stessa) trasmette alle figlie il 100% del suo corredo cromosomico (si noti che il fuco non può avere

alcun figlio maschio, soltanto nipoti maschi!). Ne deriva che le api femmine dell'alveare (se sorelle germane, cioè aventi in comune sia la madre che il padre) sono fra loro consanguinee al 75%. Ciò perché il fuco, col suo singolo filamento cromosomico, trasmette in ugual modo tutti i suoi geni a tutte le figlie, e quindi la metà dei geni delle figlie, derivando dal padre, è identica. La regina invece ha un doppio filamento cromosomico e perciò ne trasmette alla generazione successiva solo la metà. Il coefficiente di consanguineità fra fratelli è (statisticamente) la metà di quello fra figli e genitori; quindi nel caso delle api operaie:  $(100\% \text{ del padre} : 2 =) 50\% + (50\% \text{ della madre} : 2 =) 25\% = 75\%$ . Una enormità, che implica che le sorelle abbiano un chiaro interesse ad aiutarsi fra loro, fino al risultato che solo alcune di esse diverranno regine, e quindi riproduttive.

Tale spiegazione è in parte naufragata quando ci si è accorti che in un alveare il complesso delle operaie può avere una decina di padri diversi, con la conseguenza che il loro coefficiente di consanguineità si riduce notevolmente. Inoltre ci sono insetti caratterizzati da socialità analoga a quella delle api, come le termiti, in cui i maschi sono diploidi (nascono da uova fecondate); e viceversa esistono in natura insetti non sociali con maschi aploidi (nascono da uova non fecondate). Due evenienze che hanno in comune la svalutazione - con riguardo al comportamento sociale o meno della specie - del fattore collegato al coefficiente di consanguineità.

Tuttavia il grado di parentela non ha perso del tutto rilievo in etologia, perché è riconosciuto come uno dei tre coefficienti che entrano in gioco nei comportamenti altruistici, gli altri due essendo: a) l'aumento del numero dei figli generati dal beneficiario dell'atto altruistico; b) il costo per l'altruista, anch'esso misurato in numero di figli. Per esempio: un comportamento altruistico che permetta (tramite la rinuncia a riprodursi direttamente) la generazione e la sopravvivenza di migliaia di fratelli e sorelle aventi mediamente in comune con l'altruista (poniamo) il 15% del corredo genetico, sarà più favorevole alla propagazione dei geni dell'altruista rispetto a un suo comportamento egoista che gli consenta di avere una progenie limitata a una decina di figli aventi il consueto coefficiente di consanguineità col genitore del 50%.

A questo punto ci si può domandare se tali coefficienti abbiano un ruolo anche riguardo all'altruismo nella specie umana: un altruismo che ha tratti e sfaccettature molto più complesse e articolate di quello delle api, cosa per cui in questa sede posso solo dire che la domanda non pare priva di senso, mentre la risposta, o le risposte, richiedono trattazioni specifiche, e forse in parte neppure (attualmente) esistono.

L'alveare viene ritenuto un superorganismo, vale a dire un organismo fatto a sua volta di altri organismi (le singole api), i quali cooperano svolgendo ruoli distinti, tutti indispensabili, con la conseguenza che nessuna singola ape potrebbe sopravvivere da sola. Sul superorganismo è in grado di operare la selezione naturale (per il tramite dei geni dei suoi "organi" riproduttivi, cioè i singoli individui). Vale a dire che sarà l'adattamento o meno all'ambiente dell'intera colonia a determinare se certi tratti genetici della regina e dei (pochi) fuchi fecondatori avranno successo, e potranno essere trasmessi ad altre colonie (v. B. Hölldobler e E.O. Wilson, *Il superorganismo*, Adelphi, 2011).

A tale riguardo, un cenno alla sciamatura. Quando la regina ha raggiunto un certo grado di invecchiamento, le api allevano alcune larve (in celle dalla forma conica) in modo che diventino regine. La prima pupa reale che sfarfalla fuori dalla cella uccide subito le altre pupe di regina non ancora uscite, e poi (dopo pochi giorni dalla nascita) esce dall'alveare per farsi fecondare dai fuchi. Dopo di che, rientrata in alveare, non essendoci posto per due regine, sarà la vecchia regina ad andarsene, portandosi dietro una parte delle api operaie. Il volo di partenza della vecchia regina con le sue operaie (che tutte insieme formano una specie di palla volante), alla ricerca

di un luogo adatto per fondare un nuovo nido e una nuova colonia, si chiama sciamatura.

## **2) Geni e ambiente (epigenetica)**

Le larve femminili (tutte sorelle aventi la stessa madre, e per una frazione di loro anche lo stesso padre) sono bipotenziabili, vale a dire capaci di diventare sia regina che ape operaia. L'esito del loro sviluppo dipende soltanto da fattori ambientali, quali in primo luogo l'alimentazione, costituita dalla maggiore (per la regina) o minore (per le operaie) nutrizione con pappa reale (invece che con polline e miele). Tuttavia anche molecole odorose emesse dalla regina (chiamate feromoni) hanno un'incidenza, essendo atte a inibire nelle operaie lo sviluppo degli organi riproduttori. Queste influenze ambientali incidono sull'espressione genetica, cioè su quali geni si attivano per produrre proteine e quali no.

Questo fenomeno rappresenta un esempio di ciò che si conosce da tempo, e che ora viene chiamato epigenetica: il fatto che i geni sono collegati all'ambiente in modi raffinatissimi e permettono all'organismo di rispondere in maniera precisa e diversificata ai diversi stimoli derivanti dall'ambiente.

Le api operaie svolgono i loro compiti secondo una cadenza scandita dal loro invecchiamento. Appena nate si occupano della pulizia dell'alveare, poi del nutrimento delle larve e della regina, poi della produzione della cera e della costruzione delle cellette esagonali, poi del trasferimento in alveare di quanto raccolto dalle bottinatrici, poi della guardia e difesa dell'alveare all'esterno dello stesso, poi della ricognizione dell'ambiente circostante all'alveare, e infine della raccolta di nettare, polline, acqua e resina. La resina serve a produrre la propoli, utilizzata come materiale da costruzione, come isolante e come rivestimento protettivo per tutte le superfici interne (e prodotta da un piccolo gruppo di api bottinatrici anziane e esperte che si specializzano nella raccolta di resina e produzione di propoli). La raccolta è l'attività più lontana da casa e quindi più pericolosa, per questo viene svolta dalle api più vecchie ed esperte. Tutto ciò è mediato dall'espressione di geni diversi, che danno luogo alla produzione di ormoni diversi, in evidente collegamento col passare del tempo nella breve vita di un'ape operaia (una vita di 30/60 giorni in primavera, estate e autunno; di qualche mese quando si tratta di passare l'inverno).

Identici geni possono fare cose diverse (vale a dire esprimere o meno proteine, in articolate relazioni con quelle espresse da altri geni) e questo attivarsi o meno del gene dipende da fattori di trascrizione (proteine che legano il DNA in una regione specifica fondamentale per l'attivazione), che a loro volta sono condizionati da circostanze ambientali (intese in senso molto lato, ivi compreso lo stato della cellula). L'enorme complessità dell'intreccio fra geni e ambiente risalta ancor di più se si considera che i fattori di trascrizione sono a loro volta delle proteine, che per forza di cose vengono prodotte su istruzione di altri geni. Siamo di fronte a un immenso reticolo di relazioni fra DNA, proteine e ambiente.

Ciò spiega una nozione che a volte viene data per stupefacente, quella per cui la specie umana condivide con gli scimpanzé qualcosa come il 98% dei geni (la stima di tale misura può variare, diciamo che son comunque moltissimi). Ebbene, questo non vuol dire che ci differenziamo dagli scimpanzé soltanto nella misura del 2%: enormi differenze stanno nel modo in cui i geni in comune si attivano (= danno luogo alla formazione di proteine), allo stesso modo in cui ape regina e ape operaia hanno strutture fisiche e comportamenti molto diversi, pur condividendo il 100% dei geni.

Ciò spiega sia lo sviluppo embrionale che lo sviluppo dei diversi tessuti e organi di un individuo: la regolazione dell'espressione genica permette a cellule che possiedono lo stesso corredo cromosomico di esprimere caratteristiche (fenotipi)

differenti, ed è quindi fondamentale per la differenziazione cellulare negli organismi pluricellulari, compresa la specie umana.

In conseguenza, riguardo alla natura delle "istruzioni" che determinano i comportamenti delle api, sarebbe semplicistico fare riferimento a uno stereotipato modulo d'azione determinato geneticamente (istinto), da contrapporre ai comportamenti che sono frutto di un'esperienza acquisita nell'ambiente naturale (apprendimento). Istinto e apprendimento sono super-interconnessi, ma la discussione di tale controversa dicotomia fuoriesce dall'ambito di questo articolo.

Concludo la sezione segnalando delle analogie fra le api (e tutti gli insetti sociali) e la specie umana. Entrambi i gruppi devono il loro successo evolutivo al comportamento cooperativo e alla divisione del lavoro. In entrambi si può supporre che la selezione naturale abbia rilievo anche a livello di gruppo, e sia caratterizzata dalla competizione diretta fra colonie (e non soltanto fra individui). Diverso però appare il ruolo dell'inscindibile coppia istinto/apprendimento: le api sono governate solo da meccanismi che, pur rispondendo in modo elastico a tutta una serie di stimoli ambientali, sono (nel loro ambito) rigidi e innati; la nostra specie invece mette in gioco - oltre a tutto ciò - ragione, autocoscienza e cultura. Il grado in cui tali apparenti qualità da un lato diano accesso al libero arbitrio e dall'altro lato consentano a *homo sapiens* di ben integrarsi nelle dinamiche del pianeta terra è oggetto di grandi e contrastati dibattiti.

### 3) Apprendimento e motivazioni

Il mondo animale (salvo poche eccezioni) è caratterizzato dal movimento degli organismi e tale movimento obbedisce a una regola semplice e applicabile alle più disparate occasioni: "fai ciò che procura ricompensa, evita ciò che procura punizione". In questo modo la natura promuove e seleziona positivamente l'apprendimento di comportamenti adattativi.

Cosa è la ricompensa? Se si tiene conto che questa regola trova attuazione nel cervello la risposta, a livello intuitivo, è chiara: la ricompensa non è altro che la scarica elettrica di neuroni dedicati a tale scopo. Dedicati, va rimarcato, non in modo specifico bensì generale: non esistono neuroni della ricompensa diversi per le diverse categorie di azioni bensì neuroni che rispondono allo stesso modo ("scaricando", cioè facendo passare corrente elettrica) quando un certo comportamento deve essere propiziato, e quindi premiato (v. il mio articolo "*Alle origini della felicità*", in questa rivista, n. 218 gen.-apr. 2024).

In questo ambito la ricerca sulle api ha ottenuto nel 1993 uno straordinario risultato, identificando un solo grande neurone, chiamato VUMmx1, che nel loro cervello è deputato a condizionare i comportamenti svolgendo il ruolo di elargitore della ricompensa (v. R. Menzel e M. Eckoldt, *L'intelligenza delle api*, Cortina, 2017). Facciamo però, prima di parlare di VUMmx1, un passo indietro.

Le api hanno una notevole capacità di associare colori, forme e odori (e anche il trascorrere del tempo) a sostanze zuccherine (che rappresentano l'obiettivo principale del loro volare in giro per i campi). Mediante la ricompensa costituita da tali sostanze le api imparano rapidamente a distinguere figure simmetriche da non simmetriche; figure poste sopra o sotto, a destra o a sinistra di un punto di riferimento; figure uguali oppure diverse rispetto a quelle viste all'ingresso di un tunnel (lo stesso vale per colori o odori percepiti o non percepiti all'ingresso); a riconoscere volti; a discriminare la mattina dal pomeriggio (di mattina la ricompensa sta su un colore, di pomeriggio su un altro, e le api imparano ad andare subito sul colore giusto), oppure a distinguere che il luogo sia a nord o a sud dell'alveare (a nord è premiato un colore, a sud un altro, e le api si comportano di conseguenza). Sono state perfino condizionate a distinguere lo

stile di Monet da quello di Picasso! Apprendono molto pur di raggiungere l'agognato zucchero.

In funzione di tali capacità di categorizzare concetti astratti, si è notevolmente sviluppata nel cervello delle api (rispetto agli insetti non sociali) una struttura chiamata corpo fungiforme, che ha ruolo di coordinamento dei vari sensi dell'ape, e che lo studioso Menzel (sopra citato) paragona alla corteccia prefrontale dell'uomo.

Ebbene, tutte queste variegate capacità di apprendimento sono correlate al neurone VUMmx1. Questo neurone scarica quando l'ape succhia lo zucchero. Se con un minuscolo elettrodo si stimola il neurone, l'ape apprende le distinzioni predette anche senza lo zucchero. Vale a dire che se il neurone è stimolato quando l'ape si ferma su caselle verdi continuerà a cercare caselle verdi anche senza che sulle stesse sia posto dello zucchero. La stessa cosa per tutti gli altri comportamenti appresi. Si tratta del neurone della ricompensa, tramite il quale sono possibili anche apprendimenti associativi c.d. del secondo ordine. Per esempio: il neurone è stimolato (dallo zucchero o dall'elettrodo) ogni volta che l'ape va a una sorgente di profumo di rosa: si dice che l'ape apprende il profumo di rosa (e cercherà le relative sorgenti). Se poi esponiamo l'ape al profumo di garofano e subito dopo al profumo di rosa, essa apprende il profumo di garofano benché non vi sia stata immediata ricompensa sotto forma di soluzione zuccherina (o di stimolo elettrico del neurone VUMmx1).

Si noti che anche nel cervello umano l'apprendimento del secondo ordine è importante, e perfino il principale: si pensi per esempio al significato del denaro.

In animali più complessi il meccanismo è analogo, solo che invece di un solo neurone sono coinvolti fasci di molti neuroni: ricerche sui primati svolte mediante tecniche di risonanza magnetica funzionale hanno messo in rilievo che i neuroni della dopamina (nell'area tegmentale ventrale, VTA, regione del cervello associata al circuito della ricompensa) hanno un ruolo decisivo in simili fenomeni di apprendimento e perfino nell'apprendimento del secondo ordine. Per esempio, per mezzo di elettrodi impiantati nella VTA, i ricercatori sono riusciti a influenzare il processo decisionale di macachi.

Infine un cenno alla memoria: per quanto piccola anche quella delle api è indispensabile, dato che anche nel loro caso non potrebbe darsi apprendimento senza memoria di quanto appreso. Ebbene, un fatto studiato e acclarato è non solo che le api dormono, ma che il sonno è fondamentale per l'efficienza della loro memoria. La memoria (pure nell'uomo) non è un processo passivo di mero immagazzinamento di dati, ma richiede tutta una specifica e complessa attività neuronale di selezione del materiale mnestico. Il momento cardinale di svolgimento di tale attività è proprio quello del sonno.

#### **4) Linguaggio**

Un aspetto che ha reso famose le api, fin dall'antichità, è quello legato alla loro danza. Il suo studio scientifico e la sua corretta interpretazione sono valse al tedesco Karl von Frisch il premio Nobel per la medicina nel 1973 (insieme agli etologi Konrad Lorenz e Nikolaas Tinbergen).

Tramite la danza l'ape bottinatrice comunica la distanza e la posizione di un'area ricca di fiori dai quali raccogliere polline e nettare (oppure comunica la posizione di una fonte d'acqua o di resina). Tramite la danza, nel corso della sciamatura, e precisamente dopo una prima sosta provvisoria dello sciame, l'ape esploratrice comunica dove si trovi quello che per lei è il posto migliore dove costruire il nuovo alveare.

La danza più importante è composta da un segmento rettilineo di pochi centimetri e da semicerchi volti a tornare all'inizio del segmento (che danno luogo a una figura a forma di otto). La durata della danza nel tratto rettilineo indica la distanza

dell'area di interesse. L'angolo che il tratto rettilineo forma con la retta costituita dalla forza di gravità (si noti che i favi di cera, sui quali le api camminano e eseguono la danza, sono posti dentro l'alveare in posizione verticale) indica l'angolo della direzione in cui dirigersi, angolo che va applicato alla retta che collega il sole all'alveare. Il tempo dedicato alla danza e la sua vivacità indicano il valore della fonte scoperta. Risulta quindi fondamentale per le api conoscere la posizione del sole, e questo è loro possibile anche solo scorgendo un pezzetto di cielo azzurro. Essendo infatti in grado di percepire la polarizzazione della luce, e cambiando tale polarizzazione col cambiare della posizione del sole nel cielo, a un'ape basta scorgere una piccola area di cielo azzurro per sapere con precisione dove si trova il sole. Se la danza si svolge all'esterno allora essa avviene in orizzontale e il tratto rettilineo punta direttamente sulla posizione dell'area da segnalare, ma si noti che la maggior parte delle danze ha luogo dentro l'alveare, dove è buio.

A tanta raffinatezza è potuta giungere la comunicazione fra le api, sotto la pressione selettiva per la quale una società complessa richiede complessi sistemi di comunicazione. Del resto, è proprio la comunicazione che permette il coordinamento dei singoli membri del superorganismo.

La comunicazione danzata delle api non possiede quella arbitrarietà della relazione tra i segni e i significati che è tipica del linguaggio umano, e non ha la possibilità di comporre i segni in modi atti a esprimere una varietà indeterminata di significati. Tuttavia, pur nella enorme maggiore complessità e raffinatezza del linguaggio umano, fra le due forme di comunicazione si può stabilire un'importante analogia: quella evolutivo/funzionale. Nel regno animale le capacità di comunicazione si sono evolute per modificare attivamente il comportamento degli altri membri della specie, un condizionamento che è indispensabile per la costruzione di sistemi sociali complessi e per la realizzazione del coordinamento degli individui che tali sistemi richiedono. Non fa eccezione il linguaggio umano. Anch'esso è uno strumento per ottenere il coordinamento sociale della comunità attraverso la modificazione dei comportamenti dei suoi membri. Un'accurata dimostrazione di questa mia (inevitabilmente) apodittica affermazione si può trovare in un bel libro di pragmatica del linguaggio: N. J. Enfield, *Language vs reality*, The MIT press, 2022.

Fabbricare concetti consiste nello stabilire classi di equivalenza fra le cose, trascurando una certa quantità di dettagli. Le api costruiscono categorie molto generali, e si muovono nel mondo operando distinzioni a maglie molto larghe. Non potrebbe essere diversamente, con quel piccolo bagaglio di un milione di neuroni. La specie umana è capace di costruire categorie variabili, in funzione delle analogie individuate fra le cose del mondo, utilizzando una grande quantità di dettagli. In questo la plasticità del linguaggio è di grande ausilio. Anche il linguaggio umano rappresenta un filtro rispetto alla realtà, ma il suo enorme pregio è di poter mutare le sue maglie in modi non definibili *a priori*, atti a cogliere un numero variabile di relazioni fra ciò che viene percepito dai sensi.

#### **5) Le api e l'uomo: da alleanza a difficile convivenza**

La nostra specie da migliaia di anni utilizza le api per l'apicoltura e la produzione di miele. Le api inoltre, volando di fiore in fiore, sono indispensabili per l'impollinazione di molte piante, comprese colture sfruttate dall'uomo per l'alimentazione propria o degli animali che alleva.

La nostra relazione con le api sta tuttavia vivendo un periodo di crisi. Prima si è cominciato col ridurre grandemente gli alveari selvatici, inducendo tutte le api a portata d'essere umano a formare le loro colonie nelle arnie gestite dagli apicoltori, oltre che riducendo i loro habitat naturali. Poi i commerci internazionali hanno consentito il diffondersi in tutto il mondo di un acaro di origine asiatica, la varroa,

parassita delle api e molto pericoloso per la sopravvivenza delle colonie. Infine abbiamo messo a punto dei pesticidi usati in agricoltura (i neonicotinoidi) che alterano variamente le capacità cognitive delle api (comprese quella di fare ritorno all'alveare, e quella della comunicazione danzata), minacciando la sopravvivenza stessa di tutto l'alveare.

Su questo profilo si possono trovare in rete molte grida di allarme e molta documentazione pregevole anche dal punto di vista scientifico. Pertanto non mi dilungo, anche perché lo spazio a disposizione è giunto al termine.

Concludo osservando che vuoi per la loro mirabilità, vuoi per il loro interesse scientifico, vuoi per la loro utilità economica, ognuno di noi è chiamato a fare del suo meglio per favorire qualsiasi iniziativa e qualsiasi gesto volto a tutelare l'esistenza delle api. Un esempio virtuoso: la Slovenia. Tra le pratiche adottate nelle sue aree urbane per aiutare le specie impollinatrici c'è quella della «falciatura ritardata» nei parchi: niente erba tagliata nelle aree verdi pubbliche fino a giugno, allo scopo di garantire che le api e gli altri impollinatori che escono dall'inattività invernale abbiano abbondanza di fiori selvatici a loro disposizione.

Lorenzo Scarpelli

Articolo pubblicato in Pegaso n. 223, settembre-dicembre 2025