

AUGUSTO FOÀ

MEMORIA E COMPORTAMENTO DEGLI ANIMALI

L'Etologia è la scienza che studia il comportamento degli animali, da *ethos* che significa 'costume', è dunque lo studio dei costumi degli animali.

Ogni comportamento animale è perfettamente adattato all'ambiente in cui l'animale vive. E ogni adattamento presuppone l'acquisizione di informazioni. Le informazioni possono arrivare all'animale attraverso due vie: la via ereditaria ovvero i geni, e gli organi di senso. Le informazioni contenute nel genoma rappresentano la memoria della specie, ciò che è innato; invece, le informazioni apprese, di volta in volta, dal singolo individuo, rappresentano la memoria individuale.

In questa conferenza non ci occuperemo di memoria della specie, lascio ai genetisti il compito di affrontare questo tema! Ci occuperemo invece dei fenomeni di apprendimento ovvero della memoria individuale. In particolare, mi soffermerò, soprattutto nella prima parte, sulla memoria spaziale: la memoria della posizione degli oggetti nello spazio.

Uno dei tre premi Nobel per l'etologia, Niko Tinbergen, si è occupato molto di questo tema e aveva fatto, già negli anni Sessanta, un bellissimo studio sulla vespa scavatrice (*Philanthus triangulum*). Questo studio era stato fatto per cercare di capire cosa debba ricordare questo animale ogni volta che torna al suo nido. Questa vespa vive sulle dune, sulla sabbia, e scava una tana sotto terra dove andrà a sotterrare delle api che cattura e paralizza, chiudendole dentro una celletta. Il *Philanthus* depone le uova in questa celletta così che, quando queste si schiuderanno, le giovani larve potranno cibarsi dell'ape che la loro mamma ha catturato e paralizzato. Il *Philanthus* depone molte uova, per questo costruisce le sue tane come se fossero una galleria sotterranea che contiene tante piccole cellette, come tante stanze, all'interno delle quali sono contenute le api pronte per essere mangiate dalle larve. Niko Tinbergen, che era un grande osservatore, si chiese come facessero questi animali, ogni volta, a scavare, richiudere il buco e poi ricordarsi dove fosse per potervi ritornare. Aveva notato che, prima di andarsene, questi animali osservano molto bene l'area dove hanno scavato il loro nido e soltanto dopo se ne vanno a caccia di api. Quando queste vespe tornano, trovano immediatamente, in mezzo a tantissimi buchi di tantissime loro conspecifiche *Philanthus*, il proprio nido, senza esitazione alcuna. A questo punto l'osservatore si chiese: "Come fanno queste vespe a non avere alcuna difficoltà a trovare il proprio buco e quindi il proprio nido,

in così poco tempo?”. La sperimentazione è consistita nel fare una serie di trucchi a queste vespe. Lo sperimentatore, ad esempio, spostava le foglie o i ramoscelli posti attorno al buco e li portava altrove, per vedere se l'animale continuava a riconoscerlo. L'animale arrivava nel luogo dove aveva scavato il nido, con la sua ape catturata, e, se non trovava più il paesaggio circostante al suo nido al suo posto, si fermava, cominciava a guardare, mollava l'ape e ci metteva un po' prima di trovare il buco giusto del proprio nido.

Ma il premio Nobel fece un classico e famoso esperimento, ancor più convincente, seppur di una semplicità disarmante. Mentre la vespa era nel suo nido, mise intorno al nido delle pigne, disposte in cerchio. Quando la vespa uscì, si alzò in volo e cominciò a guardare queste pigne. Osservava, quindi, il suo nido prima di allontanarsi per andare a caccia. Mentre la vespa era a caccia, lo sperimentatore spostò le pigne lontano dal nido, di soli 30-40 cm. Quando la vespa tornò cercò il suo nido, al centro delle pigne, senza trovarlo. Questo è un caso tipico di memoria spaziale! L'animale, nella sua vita di insetto ha bisogno di imparare qualcosa e di metterlo in memoria. Ha bisogno di trovare il suo nido, non può sbagliarsi, perché le proprie uova stanno lì ed è la propria prole che deve nutrire e non quella delle altre vespe! Quindi il sistema visivo della vespa percepisce e manda in memoria la configurazione spaziale dei riferimenti locali presenti nell'area del nido. Questo semplice esperimento di Tinbergen è un caso tipico di memoria necessario per la sopravvivenza.

Guardando la letteratura, più o meno recente, mi sono reso conto che esiste una serie enorme di studi, svolti negli ultimi 30 anni, sulla memoria negli uccelli. Questi studi riguardano, in modo particolare il comportamento di immagazzinamento del cibo.

Sono state esaminate due famiglie di Passeriformi: i *Paridae* e i *Corvidae*.

Il comportamento dei *Paridae* è stato esaminato utilizzando una specie molto studiata, la Cincia Bigia Americana *Parus Atricapillus*. Questi animali sono una specie onnivora e, in autunno, raccolgono migliaia di semi e di insetti e li nascondono in migliaia di nascondigli. Naturalmente questi animali devono essere in grado di ritrovare questi nascondigli, devono quindi ricordare la posizione di migliaia di nascondigli, anche dopo uno o due mesi. La cosa interessante è che le cince ricordano esattamente anche il tipo di cibo che hanno messo nei nascondigli, se sono semi o se sono insetti. Questo perché gli insetti deperiscono prima e devono essere mangiati prima, invece i semi, che di solito sono ricoperti dal guscio, resistono molto di più e possono essere mangiati anche dopo molti mesi. Dove li nascondono questi semi

e questi insetti? Spesso li nascondono in piccole cavità delle piante, nel muschio, nei licheni, e soprattutto non vanno mai una seconda volta a nascondersi nello stesso posto dove li hanno nascosti prima. Sono stati fatti degli esperimenti in voliera per capire cosa guidi questi uccelli a ritrovare il cibo che hanno immagazzinato. Far questo non è molto difficile, basta mettere delle strutture artificiali, degli alberi con dei buchi o delle scatole di legno con dei fori, e mettere a disposizione degli uccelli dei semi di girasole, semi che questa specie mangia volentieri. Quando gli animali sono sazi vanno ad inserire i restanti semi in questi buchi artificiali. Successivamente lo sperimentatore toglie gli animali, raccoglie i semi dai buchi e copre i buchi con del velcro. Quindi non c'è possibilità di riconoscimento, né di tipo visivo, né olfattivo, di questi buchi. Gli animali tornano e nella maggior parte dei casi visitano i siti che avevano contenuto le provviste e non quelli senza provviste, il che significa che sicuramente non sono soltanto capaci di ritrovare i luoghi dove hanno nascosto i semi, ma lo fanno senza nessun riconoscimento visivo né olfattivo dei punti esatti dove avevano riposto i propri semi.

Passiamo ora a una specie della famiglia *Corvidae*, che ha delle prestazioni di memoria ancora più impressionanti rispetto alla cincia di cui abbiamo appena parlato. Si tratta della famosa Nocciolaia di Clark. Questo uccello americano in autunno inserisce fino a 33000 pinoli in 2500 nascondigli diversi. Scava un buco nel terreno per ogni pinolo e ricopre di terra il nascondiglio. Alcuni di questi sono anche a 25 km di distanza dal punto in cui li ha prelevati. I pinoli sono nascosti in autunno e l'uccello usa queste riserve per tutto l'inverno, fino a primavera, molti mesi dopo l'immagazzinamento anche 7-9 mesi dopo!

Il caso biologico di questi uccelli è talmente impressionante da aver stimolato una ricerca molto approfondita sui meccanismi con i quali una prestazione di questo genere possa avvenire. La sopravvivenza durante l'inverno e nella primavera/estate dipende dalla capacità del corvide di ritrovare i nascondigli per i semi scavati l'autunno precedente. Gli esperimenti sul campo hanno dimostrato che l'accuratezza nel ritrovare i nascondigli è del 67% nella primavera e del 44% nell'estate. Gli esperimenti in voliera sono estremamente facili, perché è possibile mettere del cibo a disposizione degli animali e dare loro la possibilità di nascondersi sul terreno. Dopodiché, se togliamo tutti i semi dal terreno, vedremo che l'80% dei nascondigli, pur non contenendo più i semi, vengono ritrovati, anche dopo diversi giorni. Questi animali vanno, col becco, a cercare di aprire dei buchi esattamente nei punti dove avevano lasciato i semi. Allora, la domanda che i biologi si devono sempre fare è: qual è la pressione selettiva per il raggiungimento di queste eccezionali prestazioni di memoria spaziale? Questa sembra essere una reazione al-

l'ostilità dell'habitat: se questi uccelli non hanno nessuna possibilità di nutrirsi durante l'autunno e l'inverno, perché il clima è ostile e non c'è disponibilità di cibo, devono escogitare una strategia di sopravvivenza. O devono migrare o devono nascondere del cibo da qualche parte per poi utilizzarlo man mano che passa la stagione ostile. La Nocciolaia di Clark in inverno si garantisce il 90% del cibo per la sopravvivenza con i nascondigli dei semi. Questo animale ha una specializzazione morfologica, una tasca sotto la lingua grazie alla quale trasporta i semi, e ha, inoltre, delle grandi prestazioni mnemoniche relative ai nascondigli.

La Ghiandaia dei Pini è un animale che, per sopravvivere durante la stagione invernale, utilizza l'80% dei semi che ha nascosto nell'autunno precedente. Anche quest'animale ha una specializzazione morfologica perché ha un' esofago espandibile che gli consente di contenere i semi e trasportarli, per poi nasconderli. Esistono anche specie simili, come la Ghiandaia della Florida e la Ghiandaia del Messico che si nutrono di cibi alternativi perché vivono in climi un po' più miti. Per questo non hanno nessuna specializzazione anatomica e hanno delle scarse prestazioni mnemoniche nell'ambito della memoria spaziale.

Un bellissimo esperimento è stato fatto, prendendo, all'interno della stessa specie, due diverse popolazioni: una che vive in Alaska e l'altra che vive in Colorado. Questo lavoro è bello perché permette di fare un confronto tra due popolazioni della stessa specie e verificare l'ipotesi che la performance di memoria spaziale sia migliore nelle specie che vivono in un ambiente più ostile. Sappiamo che in entrambi gli stati c'è un clima freddo sia in autunno che in inverno, ma sicuramente le temperature sono più basse in Alaska. L'esperimento è stato fatto in laboratorio, cioè in voliere artificiali. Gli istogrammi di seguito riportati (FIG. 3.1.) presentano la quantità di semi mangiati e nascosti in Alaska e Colorado, rispettivamente.

Le colonne in nero si riferiscono alle popolazioni dell'Alaska e quelle in bianco e a righe si riferiscono alle popolazioni del Colorado. Si può osservare che non c'è differenza tra le quantità di cibo che mangiano le cince dell'Alaska e quelle del Colorado, ma le cince dell'Alaska nascondono, in proporzione, molti più semi di quelle del Colorado.

Quando gli uccelli vengono messi in condizione di ritrovare il cibo che hanno nascosto, le cince dell'Alaska trovano subito i nascondigli col loro cibo. Quelle del Colorado, invece, sono molto meno precise e hanno bisogno di provare molti nascondigli diversi prima di trovare quelli contenenti il loro cibo (FIG. 3.2.).

FIG. 3.1.



Cincia bigia americana
Parus atricapillus

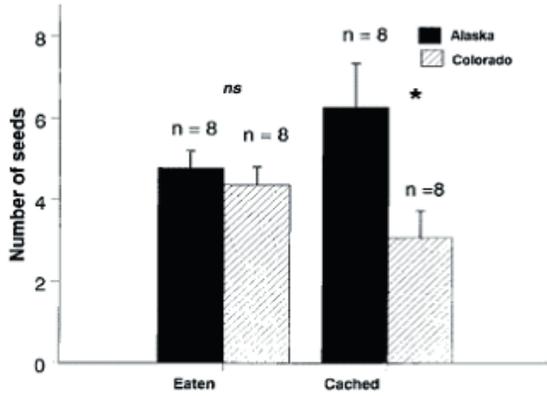
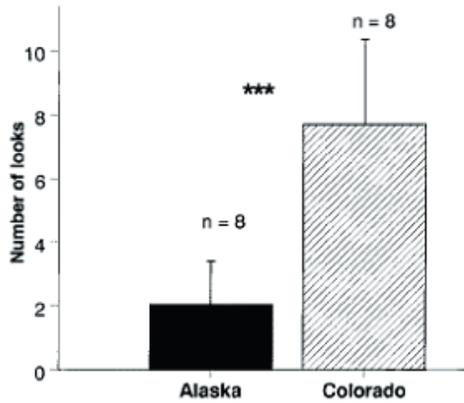


FIG. 3.2.



Cincia bigia americana
Parus atricapillus



L'esperimento era organizzato nel modo seguente: venivano fatti 70 fori artificiali; veniva data l'opportunità a questi uccelli di mettere i semi dentro i fori e poi lo sperimentatore copriva il foro con un nodo. L'animale, per trovare il seme, doveva spostare col becco il nodo e andare a guardare sotto. In questo modo era possibile contare i tentativi che gli animali facevano per trovare i semi. Si è visto quindi che le cince dell'Alaska ritrovavano i semi che avevano nascosto con un numero molto più basso di tentativi rispetto a quelle del Colorado. Si potrebbe pensare che l'esperimento sia un po' viziato perché se le cince dell'Alaska nascondono molti più semi, la probabilità di trovarli è ovviamente maggiore! Allora l'esperimento è stato ripetuto, mettendo a disposizione soltanto 15 fori, invece che 70. Ciononostante è emersa una differenza statisticamente significativa: le cince dell'Alaska hanno bisogno di fare molti meno tentativi per trovare i semi nascosti rispetto a quelle del Colorado.

Esiste poi una terza situazione: se io marco i fori dove metto i semi con dei colori, cioè esponendo le cince a una situazione che non coinvolge la memoria spaziale, non osserveremo alcuna differenza tra le due popolazioni nel ritrovare il cibo. Questo perché il colore rappresenta un'associazione mnemonica diretta e non dipende dalla posizione che l'oggetto ha nello spazio. Se io vedo un colore nuovo riconosco il colore e non la relativa posizione spaziale.

In sintesi, esistono delle reali differenze comportamentali tra le due popolazioni che sono attribuibili a significative differenze di performance di memoria spaziale. La differenza più spiccata tra le due popolazioni compare d'inverno, ed è in funzione della lunghezza del fotoperiodo (la durata della parte illuminata del giorno solare). In Alaska il fotoperiodo è così breve da lasciare pochissimo tempo, ogni giorno, alle cince per raccogliere il cibo: giusto quanto basta per sopravvivere. In Colorado il fotoperiodo invernale è circa lungo il doppio, oltre il fatto che vi sono delle differenze di temperatura e nevosità tra i due ambienti. Ne discende che le cince del Colorado hanno una minore necessità di nascondere grandi quantità di semi e quindi hanno una memoria spaziale inferiore rispetto alle cince dell'Alaska.

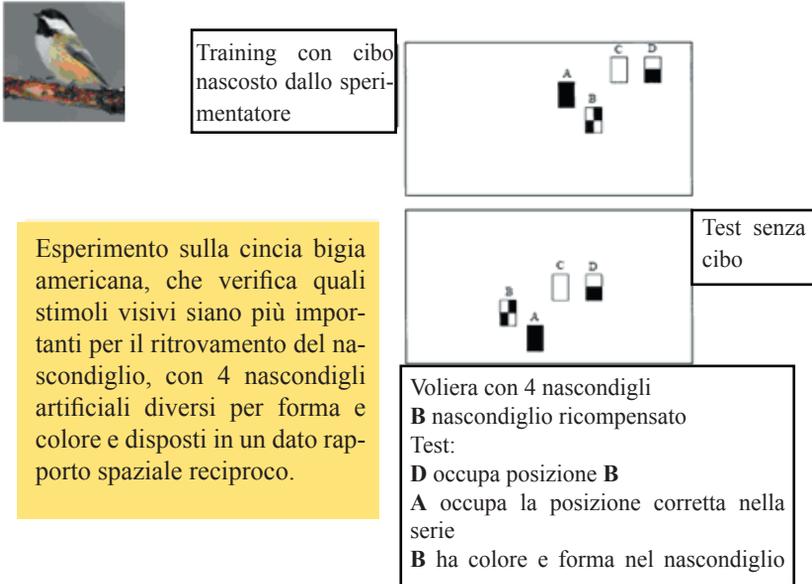
Ma che cosa ricordano questi animali? E come utilizzano ciò che ricordano per ritrovare il cibo che hanno immagazzinato? Potrebbero ricordare l'odore del cibo, la forma o il colore del nascondiglio, oppure la posizione del nascondiglio nello spazio e i rapporti spaziali tra oggetti vicini al luogo del nascondiglio. Potrebbero ricordare questi rapporti spaziali utilizzando punti di reperi visivi presenti intorno al nascondiglio.

Un possibile ruolo dell'odore del cibo può essere scartato, poiché dagli esperimenti in voliera precedentemente citati abbiamo visto

che, togliendo il cibo, gli animali erano comunque in grado di trovare i buchi. Quindi l'odore del cibo ha una scarsa importanza in questa prestazione.

È stato possibile fare, in laboratorio, una serie di esperimenti, di cui verrà mostrato un esempio qui di seguito. Il cibo viene nascosto dallo sperimentatore (non è l'animale a nascondere il cibo!) in un blocco di legno. Nella voliera sono appesi soltanto quattro blocchi di legno (A, B, C, D) con dei fori e sono tutti diversi tra loro, per forma, per colore, ecc. (FIG. 3.3).

FIG. 3.3



Lo sperimentatore mette il cibo in uno di questi blocchi e poi dà la possibilità agli uccelli di trovare il cibo sempre nello stesso blocco, che in questo caso era il blocco B. Successivamente sposta di 40 cm verso sinistra i quattro blocchi e sostituisce B con A. Non c'è più la stessa sequenza di prima, perché prima avevamo: A, B, C, D e adesso abbiamo la sequenza B, A, C, D. Per di più questi blocchi sono spostati. Dove va la cincia a cercare il cibo? Va in D, perché è esattamente la stessa posizione nello spazio che prima era occupata da B. Ma qui ovviamente non trova il cibo. E allora, subito dopo cerca cibo in A, perché A ha la stessa posizione nella serie che aveva prima B. Non trova nuovamente il cibo e allora finalmente sceglie B, perché lo riconosce per il colore. Contrariamente a ciò, noi siamo propensi a ritenere che il colore e la

forma siano gli aspetti più attraenti e più facilmente comprensibili di un oggetto nello spazio. Nel caso presente è invece chiaro che per le cince il colore rappresenta solo la terza scelta, che questi animali attuano soltanto quando le scelte alternative sono andate tutte a vuoto. In realtà l'elemento più importante nel dirigere la scelta della cincia risulta essere la posizione di questo oggetto nello spazio rispetto agli oggetti circostanti.

Esiste, dunque, una gerarchia di importanza delle informazioni memorizzate. Al primo posto troviamo la corretta posizione nello spazio, al secondo la corretta posizione di una serie e per ultimo, quindi gerarchicamente meno importante in assoluto, il corretto colore e forma. Quindi questa è una grande sorpresa, nel senso che, effettivamente, quello che davvero conta è la posizione dell'oggetto rispetto agli oggetti circostanti. È interessante sapere che una gerarchia di questo tipo non esiste in tutti gli uccelli, ma esiste soltanto in quelle specie che per sopravvivere devono nascondere il cibo nei nascondigli. Infatti altre specie di uccelli, pur essendo filogeneticamente affini, non avendo necessità di nascondere il cibo per sopravvivere durante l'inverno hanno delle priorità diverse per attuare le quali la memoria di forma e colori risulta essere più rilevante dal punto di vista biologico.

Dal punto di vista neurologico è importante sapere che ai meccanismi mnemonici è deputata una specializzazione anatomica a livello cerebrale. Nel cervello di un uccello c'è una zona particolare, che nei mammiferi chiamiamo ippocampo. Questa zona è filogeneticamente omologa all'ippocampo, la chiamiamo, infatti, formazione ippocampale e corrisponde alla zona dorso-mediale del telencefalo, ed ha funzioni simili negli uccelli e nei mammiferi.

Ebbene l'ippocampo delle specie di uccelli che immagazzinano il cibo ha un volume molto maggiore rispetto al volume dell'ippocampo di specie che non immagazzinano il cibo. Se vengono effettuate lesioni bilaterali di queste aree del cervello, la cincia bigia non è più in grado di trovare il nascondiglio, senza che il suo comportamento di prelevare i semi, nasconderli e provare a trovarli venga abolito. Il problema è che non li trova più! Quindi vuol dire che una lesione bilaterale della formazione ippocampale non riduce la motivazione del comportamento, ma di fatto abolisce la capacità delle cince di usare la memoria spaziale. Tuttavia, lesioni in quest'area non producono nessun effetto su compiti mnemonici che richiedono di associare un luogo con un colore o una forma. Quindi la lesione compromette la memoria spaziale ma non la memoria associativa che riguarda i colori e le forme. Si può, dunque, concludere che la lesione della formazione ippocampale dissocia la memoria spaziale da quella associativa.

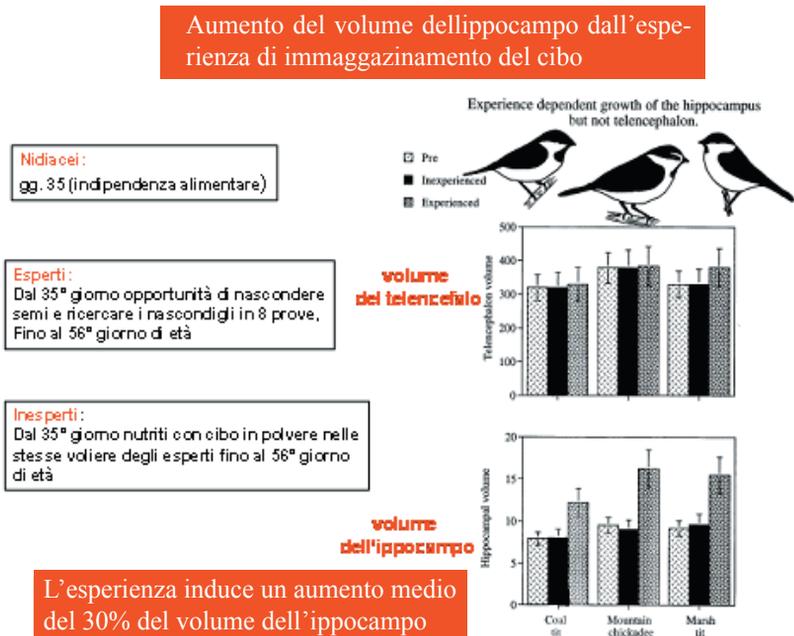
In un contesto etologico diverso, il Parassitismo di cova, è stato dimostrato che possono esserci notevoli differenze di dimensioni dell'ippocampo tra esemplari dei due sessi nella stessa specie. Ad esempio la femmina del Molotro Testa Bruna, uccello parassita di cova, presenta una formazione ippocampale molto più grossa del maschio. Gli uccelli parassiti di cova osservano molto bene quando gli altri uccelli vanno a deporre le uova e vanno a mettere le proprie uova nel loro nido. Questo straordinario comportamento permette loro di deporre anche molte decine di uova, in una stagione, facendole covare da tantissime coppie di altre specie. Questo comportamento richiede una notevole prestazione di memoria spaziale ma anche temporale, perché gli animali devono sapere dove sono i nidi di tantissimi potenziali ospiti di cova e anche valutare i tempi in cui le altre femmine, di cui parassiteranno la cova, deporranno le loro uova. Quindi vi è una notevole prestazione mnemonica che viene attuata solo dalle femmine, in quanto i maschi non partecipano affatto a questo evento. Il risultato finale è che l'ippocampo delle femmine è molto più grosso di quello dei maschi della stessa specie.

Quindi, in qualunque contesto si voglia guardare, le differenze di volume della formazione ippocampale sono correlate alle differenze nell'uso della memoria spaziale nei più diversi ambiti comportamentali.

Lo studioso Clayton, di Cambridge, in collaborazione con J. Krebs ha fatto una interessante scoperta: l'aumento di volume dell'ippocampo dipende dall'esperienza di immagazzinamento del cibo. Per questo esperimento sono stati utilizzati uccelli appartenenti alla specie Mountain Chickadee, che è sempre una Nocciolaia. Dovete sapere che gli uccelli di questa specie, ma anche di specie simili, diventano indipendenti, dal punto di vista alimentare, intorno al 35 giorno di età e, a quel punto, potrebbero cominciare a trovare dei semi e ad immagazzinarli. Lo sperimentatore lascia questi uccelli in una voliera mettendo a loro disposizione dei semi, in modo tale che questi possano trovarli ed immagazzinarli: tra il 35 al 56 giorno di età gli uccelli vengono sottoposti dallo sperimentatore a otto prove (esperti). Gli animali vengono poi sacrificati per misurare le dimensioni relative delle loro formazioni ippocampali. Vengono utilizzati come controlli due tipi di animali: a) uccelli di 35 giorni, per vedere come era l'ippocampo prima dell'inizio dell'esperimento (nidiacei); b) animali che invece di avere a disposizione dei semi, hanno soltanto cibo in polvere. Quindi, questi ultimi, sono messi nelle stesse condizioni sperimentali, ma non possono nascondere i semi e ritrovarli perché non li hanno (inesperti). Se voi guardate i tre istogrammi (Fig. 3.4.) vedete che non c'è nessuna differenza a livello del telencefalo tra i tre gruppi di animali. Diversamente, per quanto

riguarda il volume dell'ippocampo, negli animali esperti la possibilità di immagazzinare il cibo e di ritrovarlo dal 35 al 56 giorno di età ha prodotto un aumento dell'ippocampo del 30%.

FIG. 3.4.



È stato anche dimostrato che l'aumento di volume dell'ippocampo è dovuto a un aumento del numero dei neuroni e non all'aumento di dimensioni e o densità dei neuroni stessi.

Queste immagini (FIG. 3.5.) mostrano la neurogenesi che avviene nell'ippocampo. A livello dell'ippocampo possiamo trovare, attraverso tre tipi di marcatori, tre tipi di cellule neuronali. Infatti, in quest'area troviamo: neuroni marcati con marcatori di nascita cellulare BrdU, che indicano neuroni che sono appena nati; neuroni marcati con proteina specifica del nucleo neuronale, NeuN, che indicano neuroni in crescita e neuroni in cui i due marcatori, BrdU e NeuN, sono colocalizzati, ad indicare un nuovo neurone in accrescimento.

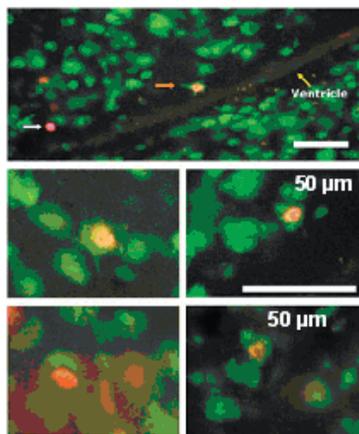
FIG. 3.5

L'aumento di volume dell'ippocampo è dovuto ad un aumento del NUMERO dei NEURONI e non all'aumento di dimensione o densità dei neuroni stessi



-  Neuroni dell'ippocampo marcati con marcatore di nascita cellulare: BrdU (nascita)
-  Neuroni dell'ippocampo marcati con proteina specifica del nucleo neuronale: NeuN (neurone maturo)
-  Neuroni in cui BrdU e NeuN sono colocalizzati (nuovo neurone in maturazione)

Neurogenesi dell'ippocampo



C'è un notevole livello di neurogenesi, a livello ippocampale, che sembrerebbe essere dovuto all'esperienza di immagazzinamento.

Molti anni fa mi sono occupato dei meccanismi di orientamento degli uccelli e in particolare, alla Scuola Normale di Pisa, ho partecipato a ricerche sui meccanismi di navigazione olfattiva dei colombi viaggiatori. Questo è un tipo di memoria diverso da quelli che abbiamo visto finora. Non è un caso di memoria spaziale ma è un caso di associazione tra direzione e odori.

Come tutti sappiamo i colombi viaggiatori sono degli animali straordinari perché sono capaci di ritornare alla loro colombaia da luoghi sconosciuti. Se li portiamo lontano, anche a centinaia di km, questi animali prendono subito la direzione giusta per ritornare a casa con una rotta diretta. È per questo che i colombi viaggiatori sono oggetto di numerosi studi sull'orientamento.

È stato dimostrato che i colombi viaggiatori sono dotati di una "mappa" che permette loro di trovare la direzione di casa anche da luoghi sconosciuti. Tale mappa deve essere centrata sulla località di casa. Ma la "casa" è la località in cui i colombi sono nati o quella dove sono stati allevati? Perché se la località su cui è centrata la loro mappa è

quella dove sono nati, si potrebbe pensare che questa informazione sia scritta nel codice genetico, ma se non è così, si può parlare di apprendimento e di memoria. È semplice l'esperimento per rispondere a questa domanda. Colombi nati da uova schiuse a Trento vengono trasferiti a Ferrara all'età di un mese. Cosa succede se, quando questi colombi hanno 4-5 mesi, li liberiamo in una località situata a metà strada tra Trento e Ferrara? Dove ritornano? È stato osservato che questi animali ritornavano a Ferrara e non a Trento. Da questo si può dedurre che la loro mappa per la navigazione non è innata ma è appresa!

La grande scoperta fatta verso la fine degli anni '70 all'Università di Pisa da Floriano Papi, che è stato il mio maestro, è che, se si tagliano i nervi olfattivi ai colombi viaggiatori, questi animali non sono più in grado di orientarsi verso casa quando sono rilasciati da località sconosciute. Una lunga serie di esperimenti ha dimostrato che i colombi viaggiatori si costruiscono le loro mappe navigazionali utilizzando il senso dell'olfatto, memorizzando gli odori portati dal vento. È stata formulata l'ipotesi che il mondo sia un mosaico di odori diversi. Così che quando gli animali sono nella loro colombaia, che deve essere pervia ai venti, altrimenti gli odori non arrivano, questi imparano gli odori locali e poi quando soffiano i venti delle zone lontane, imparano anche gli odori delle zone lontane e li associano con le direzioni dei venti che li trasportano. L'ipotesi prevede che quando i colombi sono trasportati in una località lontana, poniamo a nord-ovest della colombaia, essi capiscano di trovarsi a nord-ovest perché ricordano di aver percepito quel caratteristico insieme di odori quando, stando alla loro colombaia, il vento soffiava da nord-ovest. Per puntare verso casa devono solo involarsi nella direzione opposta, cioè verso sud-est. L'ipotesi della navigazione olfattiva è basata sulla memoria associativa, cioè sull'associazione tra un insieme di odori e una determinata direzione: associazione che i colombi devono mandare a memoria per poi utilizzarla per orientarsi verso casa al momento opportuno. Vi posso assicurare che i colombi riescono a ritornare da località sconosciute, in direzioni sconosciute, anche da 500-600 km. Questa è una notevole prestazione di memoria associativa!

È stato dimostrato che se alleviamo dei colombi in delle voliere con le pareti di vetro questi uccelli non sono assolutamente in grado di orientarsi.

In un altro esperimento (Fig. 3.6.) i colombi vengono allevati all'interno di corridoi alle cui estremità si trovano dei giganteschi ventilatori, come quelli utilizzati nei film. Se soffia un vento da est e mentre soffia viene acceso un ventilatore che inverte la direzione di provenienza del vento, facendolo arrivare da ovest, succede che il colombo associa

l'odore con un vento che viene dalla direzione opposta rispetto a quella che è la direzione reale. Quello che notiamo è che i colombi allevati in questa colombaia, una volta trasportati sul luogo di rilascio si involano nella direzione opposta rispetto a casa, mentre se osserviamo colombi allevati in colombaie di controllo che ricevevano i venti normalmente, essi si orientano verso casa. Questo esperimento non prova però che ci sia una associazione tra vento e odori, perché l'esperimento non prevede una manipolazione del senso dell'olfatto.

FIG. 3.6.

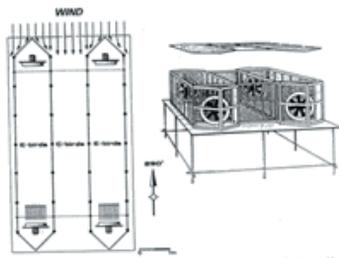
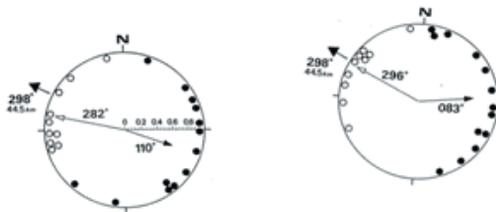


Fig. 3 — Glass corridors. The diagram on the left shows what occurs in the corridors with a westerly wind, that on the right gives a side-view of the corridors.

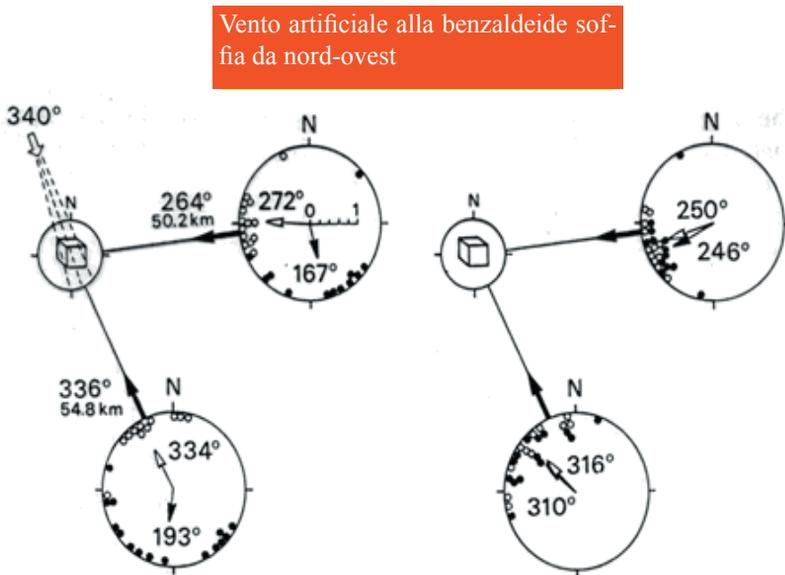
Inversione della direzione dei venti



In un altro esperimento (FIG. 3.7.) è stato posizionato un ventilatore davanti ad un contenitore all'interno del quale vi era una sostanza chiamata benzaldeide che ha un odore molto forte. La voliera dei colombi consisteva in un cubo chiuso semplicemente da reti. Quando il vento soffiava da 340°, quindi da nord, nord-ovest, si accendeva il ventilatore e i colombi ricevevano l'odore di benzaldeide. Dalle altre direzioni non ricevevano nessun odore artificiale, ma gli odori portati naturalmente dal vento (colombi sperimentali). Una voliera di controllo era sottoposta ai venti naturali, senza nessuna amplificazione o odore particolare. I colombi venivano inseriti in queste voliere a 1-2 mesi di età, e qui allevati per almeno tre mesi, cioè il periodo di tempo

necessario all'apprendimento di una mappa navigazionale olfattiva. I risultati hanno mostrato che se al momento del rilascio da sud, sud-est rispetto a casa, viene spalmata la benzaldeide sulle narici dei colombi sperimentali, questi si orientano verso la direzione opposta a casa, perché pensano di essere a nord, nord-ovest. Se invece io non espongo i colombi sperimentali alla benzaldeide, essi vanno dritti verso casa. Diversamente, quando sul luogo di rilascio la benzaldeide viene spalmata sulle narici dei colombi di controllo, che erano stati allevati senza aver mai sentito prima quell'odore, essi si sono orientati verso casa. Questa è la dimostrazione vera di una memoria associativa: l'associazione tra un odore e una direzione.

FIG. 3.7.



Per quanto riguarda la natura delle sostanze odorose usate dai colombi per orientarsi, sappiamo alcune cose, ma non ancora abbastanza: si sa, per esempio, che questi odori sono sostanze allo stato gassoso, molecolare, (non aerosol), ma la loro natura chimica è ancora oggetto di studio. Sembra che siano composti organici appartenenti alla famiglia degli idrocarburi.