

---

## L'architettura delle api sociali

The article analyzes the architectural structure of the bees' nest, which finds no adequate comparison except in the constructions created by the ingenuity of man. The functional rationality of the forms, the economy of materials and the social method of construction are explained.

Keywords: *Bee architecture, Materials and methods of construction*

---

Piero Sagnibene

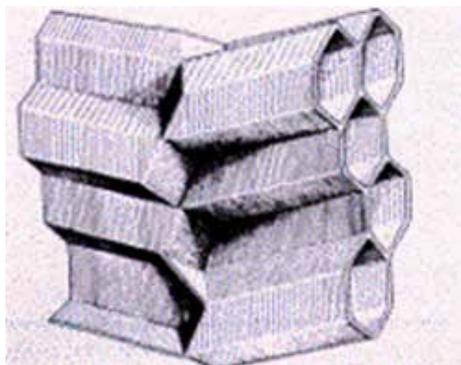
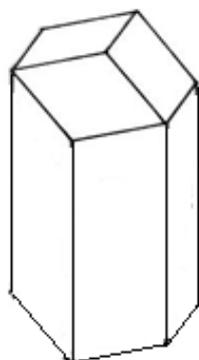
---

Alcuni decenni or sono, un famoso architetto tentò un esperimento à la Le Corbusier in un quartiere periferico di Napoli, facendo costruire degli edifici che avevano forma triangolare di “vela” e che erano pensati come veri e propri formicai, tant’è che il Comune di Napoli fu costretto ad abatterle. Tentando di capire qualcosa di come avesse ragionato il progettista e quale fosse il suo concetto di “abitazione”, incappai in un articolo su Frank Lloyd Wright e la sua “architettura organica”; supplii al poco che capisco in questo campo con le fotografie delle costruzioni progettate da Wright, che davano piacere solo a guardarle. In seguito, ebbi occasione di incontrare il famoso progettista delle “vele” e non potei trattenermi dal chiedergli da dove avesse ricavato quell’idea di “mastrilizzazione” del proletariato urbano (nel vernacolo napoletano il “mastrillo” è la trappola per topi). Concentrare ben duecento di famiglie in uno spazio da cubicoli, secondo me, richiedeva una dose massiccia di cinismo architettonico. Wright voleva che l’architettura organica corrispondesse alla creazione, economica, di forme e spazi che rispondessero ai principi della natura, progettava pensando al benessere delle persone, mentre le “vele” erano state costruite con un criterio opposto, badando soltanto a spendere il meno possibile dei lauti finanziamenti pubblici, indipendentemente da ciò che sarebbe poi risultato sul conto dei costi pagati dai contribuenti, per dare una “casa” ai disgraziati che dovevano essere deportati dal centro della città nelle “vele”.

Feci il tentativo di applicare il concetto di Wright allo studio delle costruzioni degli insetti. Cosa poteva esservi di più economico e di più naturale della sapienza istintiva che centinaia di milioni di anni di evoluzione



Le vele di Scampia a Napoli



avevano fatto elaborare alle vespe ed alle api? Naturalmente le esigenze degli insetti e quelle degli umani sono diverse, tuttavia c'è qualcosa che unisce un geniale architetto alle costruzioni degli insetti: entrambi nel costruire perseguono il benessere degli individui e della comunità e costruiscono a misura del loro benessere. Le loro costruzioni hanno entrambe la bellezza intrinseca della razionalità e della funzionalità, oltre a quella della massima economia dei materiali.

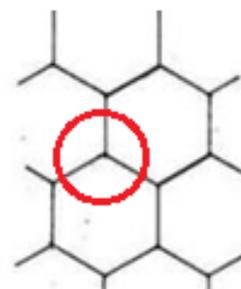
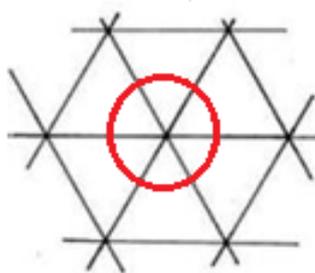
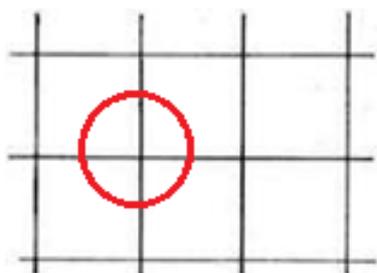
### Prismi esagonali

La struttura architettonica del nido delle api non trova paragone adeguato che nelle costruzioni realizzate dalla ingegnosità e dalla inventiva dell'uomo. In un nido di api vivono molte decine di migliaia di individui, quanti gli abitanti di una piccola città, in uno spazio che, in proporzione, sarebbe quello di un medio condominio, e questa popolazione è in continua espansione demografica. L'allevamento delle larve, verso cui converge ogni energia della comunità, richiede grandi provviste di acqua, miele, polline, propoli, e inoltre, per il fatto che le api sono originarie di climi più caldi, tutti i fattori microclimatici nel nido devono essere regolati e sostenuti mediante lavo-

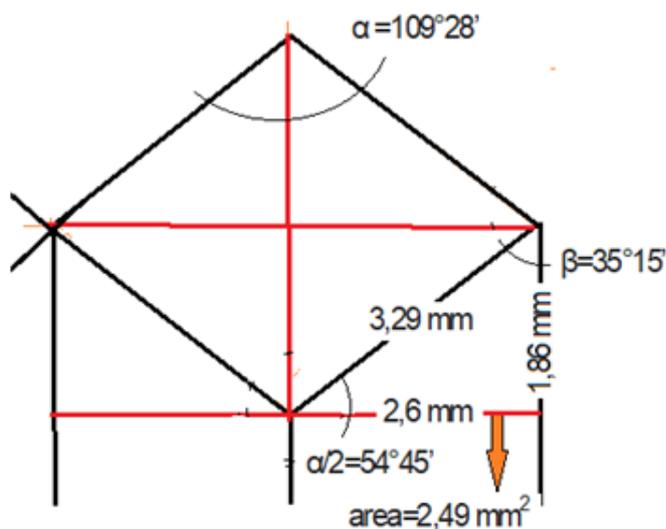
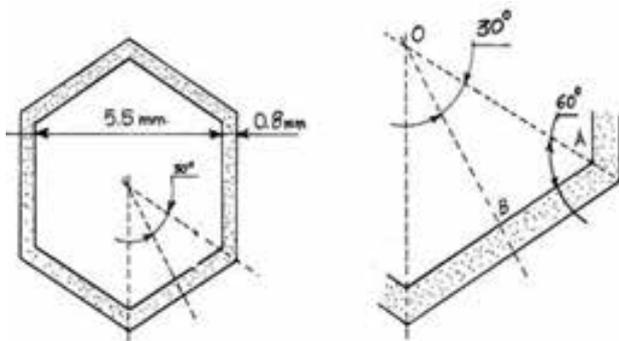
ro attivo, in modo da assicurare alle larve l'ambiente più favorevole al loro sviluppo (la covata viene mantenuta sempre a 34-36 °C). L'economia di spazio e l'economia di materiali, dunque, sono del tutto essenziali; la prima perché è meno costoso governare il microclima di un ambiente più piccolo; la seconda anche perché, a differenza di altre specie sociali, che costruiscono i loro nidi o scavando nei vari substrati oppure rielaborando materiali reperiti nell'ambiente circostante, il materiale da costruzione utilizzato dalle api è la cera, una sostanza secreta dalle loro ghiandole addominali, e solo per un breve periodo della vita delle operaie.

Quando si guarda un favo di ape, la domanda che sorge spontanea è perché le cellette per le larve, costruite tutte uguali con una grandissima precisione di forma e di misure, sono prismi esagonali?

Non credo che le api sappiano di Platone, ma fu lui a dire che per comporre, ad esempio, un pavimento, in modo che non vi siano vuoti tra una mattonella e l'altra, vi sono tre sole possibilità: o mattonelle quadrate, o triangoli equilateri oppure esagoni, in modo che, unendole, si possa formare un angolo di 360°. Infatti vi sono soltanto

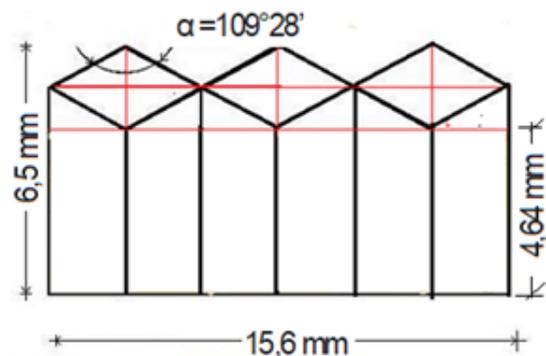


tre angoli interni di poligoni regolari la cui ampiezza soddisfa questa condizione:  $60^\circ$  (triangolo equilatero),  $90^\circ$  (quadrato),  $120^\circ$  (esagono). Ne consegue che è possibile associare, mediante lati in comune, quanti si vogliano di questi poligoni, poiché intorno a ciascun vertice se ne possono raggruppare tanti quanti ne indica il quoziente del rapporto tra  $360^\circ$  ed il loro angolo interno, cioè 6 triangoli equilateri, oppure 4 quadrati o anche 3 esagoni. Ora, a parità di area, la figura che la racchiude nel perimetro minore è proprio l'esagono. Le dimensioni della cella, in cui si sviluppa la larva di ape operaia, ha una larghezza tra due facce parallele di 5,5 mm; questa misura, che corrisponde perfettamente alle esigenze della larva, definisce un lato  $\ell$  della cella di 2,6 mm, ed un perimetro di 15,6 mm, il quale racchiude un'area di  $17,55 \text{ mm}^2$ . Se prendiamo un quadrato, anch'esso di area  $A = 17,55 \text{ mm}^2$ , questo ha un perimetro di 16,76 mm (+7,43%), ed ancora più grande è il perimetro di un triangolo equilatero equiesteso, 19,10 mm (+20,13%).



La cella dell'ape è un prisma cavo esagonale, disposto orizzontalmente e con l'asse leggermente inclinato verso il basso dov'è posta la base. Quest'ultima si chiude con una piramide, le cui facce sono tre rombi che ciascuna cella ha in comune con altre tre della faccia opposta; di conseguenza le celle non sono reciprocamente opposte, ma l'asse di ciascuna di esse si trova sul prolungamento dello spigolo del diedro comune a tre prismi contigui dell'altra faccia del favo.

I diedri formati dalle losanghe, tra loro e con le facce laterali del prisma, sono tutti di circa  $109^\circ 28'$ , cosicché si può considerare approssimativamente la piramide basale come le tre facce di un rombododecaedro, sei altre facce del quale sono rappresentate dalle facce parallele del prisma. Il fatto che una medesima parete possa servire due celle contigue è un criterio di massima economia. I diedri formati dalle losanghe, tra loro e con le facce laterali del prisma, sono tutti di circa  $109^\circ 28'$ , cosicché si può considerare approssimativamente la piramide basale come le tre facce di un rombododecaedro, sei altre facce del quale sono rappresentate dalle facce parallele del prisma. Il fatto che una medesima parete possa servire due celle contigue è un criterio di massima economia. Se distendiamo su un unico piano le pareti ed il fondo della cella, otteniamo una figura composta da un rettangolo e da 18 triangoli uguali la cui area è  $44,82 \text{ mm}^2$ ; l'area del rettangolo residuo è data dal perimetro della sezione esagonale per lo spigolo corto del prisma,  $72,384 \text{ mm}^2$  totale è circa

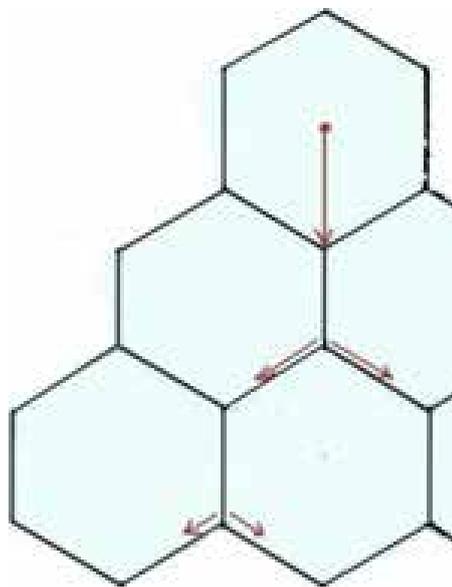


117,20 mm<sup>2</sup>. Lo spessore della parete della celletta d'ape cella è circa 0,8 mm, ma ciascuna parete è in compartecipazione con le altre celle, quindi dobbiamo assumerne la metà dello spessore, 0,4 mm, per cui occorrono circa 47 mm<sup>3</sup> di cera a cella.

La ragione per cui la cella ha una base piramidale è di grande importanza. Si può osservare che la porzione caudale del corpo della larva è fusiforme, e, in un incavo a piramide trigonale, trova appoggio su tre pareti oblique; diversamente, se il fondo della cella fosse piatto, la pupa sarebbe compressa dal proprio peso. Inoltre, il fatto che le pareti del fondo siano inclinate rispetto all'asse della cella, definisce una struttura scatolare di maggiore resistenza.

La costruzione comincia a partire da una base a forma di cuspidate con tre losanghe inclinate di 109° 28', su cui le api premendo contemporaneamente ai lati innalzano le pareti cellulari a forma esagonale con un'inclinazione tra i 9° e 13°, sufficiente a impedire il deflusso del miele liquido immagazzinato nelle celle. Il fondo piatto e quello piramidale sono forme entrambe congruenti con il principio di economia dei materiali, ma il fondo piatto favorisce lo scioglimento verso il basso; diversamente il fondo piramidale determina un incastro denticolato che salda strutture scatolari, aumentandone, così, enormemente la tenuta, la coesione e la resistenza meccanica. Infine tale forma consente l'aggiunta indefinita di nuove celle su entrambe le facce del favo ed in qualsivoglia direzione normale all'asse delle celle, senza che venga sbilanciata la resistenza della struttura scatolare e consentendo di conformare la forma del favo allo spazio disponibile.

Ma c'è di più. La figura esagonale, con due vertici posta in verticale, funziona come un ripartitore del carico, rendendo la struttura molto più solida. Applicata al centro della cella, la forza peso  $F = m g \cos \Phi$  si sposta lungo la sua retta d'azione, ma al punto di congiunzione delle pareti viene scomposta in due componenti che agiscono su due direzioni inclinate di  $\Phi = 60^\circ$  rispetto alla normale di gravità ( $\cos 60^\circ = 1/2$ ); ciascuna di queste componenti giunge ad un successivo pun-



to di congiunzione delle celle e qui viene ancora scomposta e dimezzata, e così via. La faccia del favo ci appare come un reticolo a maglie, e ciascuna maglia ha sempre due spigoli disposti sulla verticale. In questo modo, e grazie ai due puntoni costituiti dai punti di triplice innesto dei lati, il carico sovrastante grava su una struttura praticamente triangolare, cioè indeformabile entro certi limiti di carico, che offre due direzioni di scarico del peso, ciascuna inclinata di 60° rispetto alla direzione della gravità. Poiché la forza per è  $m g \cos \theta$ , questa inclinazione, in pratica, ne dimezza l'effetto sulla singola cella. Se le celle fossero invece disposte con due lati paralleli normali alla gravità, con  $\theta = 90^\circ$  e  $\cos \theta = 1$ , il carico insisterebbe interamente sulla faccia. Per il medesimo principio, sia la sezione sagittale che quella frontale del favo spezzata a dente di sega formata dai profili delle facce piramidali.

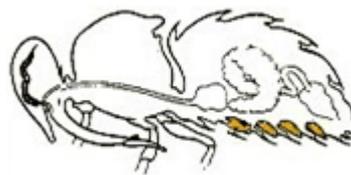
Mediamente un favo è composto da circa 30.000-50.000 celle, poniamo mediamente 40 000; ciò significa che per un singolo favo saranno necessari circa 1,9 dm<sup>3</sup> di cera. La cera ha un peso specifico medio di 0,962 Kg/litro (tra 0,948 e 0,976 Kg/litro) per cui ne occorrono circa 1,8 litri per costruire un singolo favo. La cera costituisce solo il 10% del volume che essa definisce, un rendimento molto prossimo a quello dei materiali edilizi utilizzati dall'architettura degli uo-

mini. Siccome per costruire una celletta occorre il lavoro di circa 120 api, per costruire il favo hanno collaborato, in varie fasi, circa 5 milioni di operaie. Il criterio di massima economia è che tutte le pareti della cella sono a mutuo contatto in modo che le loro pareti siano tutte in compartecipazione.

### Costruire con la cera

Perché le api costruiscono con la cera e non con il legno o la carta come fanno, ad esempio, le vespe polistes o i calabroni? Le api raccolgono il polline sui fiori e, per trasportarlo nel nido, lo devono impastare in palline che attaccano alla tibia delle zampe posteriori, intorno ad un grosso pelo, in una cavità chiamata “cestello”, marginata da forti e lunghi peli incurvati, formando palline che possono raggiungere i due grammi. Per poter impastare il polline, le loro mandibole si sono trasformate in una sorta di palette, strumenti certamente straordinari per raccogliere polline ed impastare la cera, ma che non sono adatte a prelevare materiali come il legno o la “carta”, come invece fanno altri imenotteri.

Le api, infatti, producono da sé il materiale da costruzione, la cera. Le api operaie sono infatti dotate di ghiandole ceripare, in corrispondenza degli sterniti IV, V, VI, VII e questi si in età compresa tra il 12° ed il 18° giorno di vita dopo lo sfarfallamento, dopo di che regrediscono, ma, in caso di bisogno, la capacità di secernere cera può essere ripristinata come, ad esempio, quando avviene la sciamatura naturale. Queste ghiandole possiedono superfici che comunicano con l'esterno dette “specchi”, sulle quali si solidifica in scagliette il liquido prodotto dalle ghiandole ceripare. Le esili scagliette vengono raccolte dalle operaie con le spazzole delle zampe del terzo paio e, successivamente, afferrate con le zampe del primo paio, vengono inumidite con la saliva e lavorate.

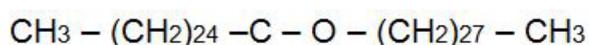
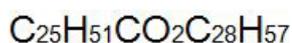


Le scagliette hanno all'incirca la forma e la grandezza dello specchio, spessore 0,5 mm. Ciascuna scaglia ha un peso medio da 0,6-0,8 mg con punte fino a 1,2 mg per cui un kg di cera richiede mediamente circa 1.250.000 scaglie, corrispondenti al lavoro di secrezione di circa 150.000 api ed al consumo di ben 12 kg di miele perché necessitano di più cibo per poter secernere la cera. La cera secreta dalle api è di colore bianco-acqua. È una miscela di oltre trecento sostanze, ma il suo componente fondamentale è l'estere di un acido grasso molto complesso, esterificato da un alcool alifatico superiore. Entro certi limiti, è un buon isolante termico, impermeabile, inossidabile, facilmente plasmabile (è malleabile a 35 °C e fonde a 63 °C), ma il costo energetico per produrla è così elevato che gli apicoltori preferiscono fornire essi stessi alle api i fogli cerei (inventati da J. Mehring nel 1857) al fine di evitare il consumo delle ingenti quantità di miele e di polline richieste per la ipernutrizione delle operaie che si trovano nella fase di produzione della cera.

La cera presenta caratteristiche meccaniche molto scadenti e, ciò nonostante, il nido delle api è solido, capace di resistere per molti anni alle intemperie. Questa solidità, dunque, è prodotta dalle forme in cui viene modellata la cera, allo stesso modo di come l'esile lamiera di un'automobile acquista rigidità allorquando è modellata in maniera opportuna.

### Tipi di celle

Le celle sono di diversi tipi, a seconda della loro utilizzazione. Le celle da operaie, destinate a con-



**CERA**

tenere la covata sono le più numerose e possono essere anche utilizzate per contenere miele e polline. Le celle da fuchi sono destinate a contenere una covata di maschi, e posso anche essere utilizzate per immagazzinare miele (raramente polline). Le une e le altre sono perfettamente esagonali, e quelle femminili sono più piccole di quelle maschili (le prime hanno una larghezza media di 5-5,5 mm, le seconde di 6-6,5 mm). Le “celle di adesione”, prive di una forma tipica, servono a fissare il favo alla soffitta dell’arnia e, dovendone sostenere il peso, sono fatte di cera miscelata a propoli; possono essere usate anche per immagazzinare miele. Le “celle di transizione”, di forma irregolare, sono interposte tra le celle da operaie e le celle da fuchi, e possono essere utilizzate anche per immagazzinare miele e polline. Le celle da miele e da polline, in cui vengono conservate queste provviste, sono larghe quanto le precedenti, ma sono più profonde e più inclinate verso l’alto; normalmente sono situate alla periferia del favo. Le “celle reali”, o da regina, hanno forma, collocazione e dimensioni diverse dalle altre. La loro forma è di ghianda capovolta, con la superficie interna cilindrica e liscia; la loro superficie esterna è rivestita da rudimenti di celle tendenti alla forma esagonale. Sono molto più grandi delle altre, poco numerose, e vengono comunemente costruite ai bordi laterali o inferiori dei favi, o nelle loro anfrattuosità. Esse non sono presenti sempre, ma solo quando parte della colonia si accinge a sciamare, oppure quando la colonia rimane orfana della regina. Una volta costruiti, i favi vengono utilizzati per anni, e le loro celle vengono pulite e levigate per essere riutilizzate. Il criterio di massima economia è che tutte le pareti della cella sono a mutuo contatto in modo che le loro pareti siano tutte in compartecipazione.

### Intelligenza sociale

Il metodo di costruzione è un fatto sociale. Si credeva un tempo che ogni ape costruisse la sua cella, ma Lindauer, osservando il lavoro di alcune api contrassegnate, mostrò che erano necessari gli interventi di almeno 120 operaie per la costruzione di una sola cella. Ciascuna operaia porta la sua particella di cera, l’inserisce nell’insieme e poi se

ne va; nondimeno, la costruzione finale è di una regolarità perfetta, così perfetta che Réamur propose di farne un campione di misura.

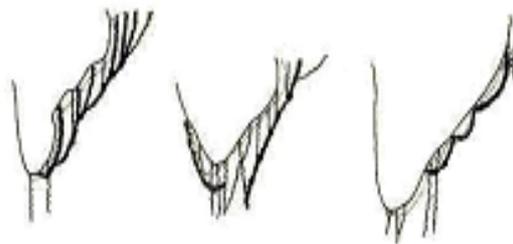
Per costruire i favi, le api si dispongono a catena, allacciandosi tra loro mediante le zampe anteriori e posteriori, in modo da formare numerosi festoni, attaccati alla soffitta dell’arnia per opera degli individui situati alle due estremità. I festoni di api lavorano indipendentemente, procedendo dall’alto verso il basso. E’ certo, come ha mostrato Lindauer, che gli organi sensoriali della testa e delle antenne servono come organi di misurazione e permettono di realizzare la regolarità delle celle. Darchen ha studiato sperimentalmente la costruzione in cera ed ha dimostrato che esistono delle catene di informazioni costituite dalle “catene della cera”. Le api che, aggrappate per le zampe, costituiscono queste catene, si trasmettono, attraverso gli organi sensoriali, di cui gli articoli terminali delle zampe sono dotati, dei dati concernenti l’avanzamento della costruzione di cera e la direzione che deve prendere. Il fatto singolare è che queste informazioni sono molto complesse, e che le api possono risolvere dei veri e propri problemi di costruzione, i quali, tuttavia, sembrano affrontati collettivamente e non da questo o quel cervello individuale.

Darchen, che è stato il primo che abbia affrontato il problema della costruzione del favo in maniera sistematica, considera la costruzione del favo di *Apis mellifica* come una delle più alte vette dello psichismo degli invertebrati. Darchen afferma che è erroneo pensare ai favi come modelli di realizzazione “istintiva”, nell’antico significato della parola “istinto” e con tutta la rigidità implicita nel termine; la conclusione essenziale dei suoi lavori è che, anche se esiste un modello da realizzare in cera e corrispondente ad uno schema probabilmente inscritto nel genotipo, l’opera dell’ape è soggetta a continui ritocchi, che adattano la cera agli ostacoli ed alle difficoltà incontrati nell’ambiente. Il punto singolare, tipico degli insetti sociali e che ne rende lo studio tanto particolare, è che questo indiscutibile adeguamento alle circostanze non è fatto da un’ape isolata, ma dell’intero corpo sociale.

Molti autori hanno osservato che un favo danneggiato può essere riparato. Darchen ha condotto una serie di esperimenti, semplici e ingegnosi, disponendo ostacoli in vari punti di un favo in costruzione, e osservando come le api reagissero. Ha constatato immediatamente la presenza di "zone sensibili", costituite essenzialmente dagli orli del favo e, in particolare, dal loro terzo inferiore, in cui l'introduzione di un ostacolo provoca le reazioni più strane. Le pareti del favo, al contrario, non reagiscono quasi affatto a questo tipo di aggressione sperimentale, sebbene abbiano una notevole importanza per quanto concerne il parallelismo dei favi. Gli ostacoli possono essere indifferentemente di legno, metallo o cartone, ma la reazione è sempre uguale. Se, ad esempio, si inserisce una lamina di metallo nello spessore del favo, in quel punto la costruzione si arresta, e ricomincia o continua al di sopra dell'ostacolo, intorno al quale si forma a poco a poco una protuberanza cerosa. Darchen pensò che la brusca interruzione della costruzione fosse dovuta alla interruzione della comunicazione tra le due pareti del favo; se, infatti, si praticano nella lamina alcuni fori, di un certo diametro ed abbastanza vicini l'uno all'altro, la costruzione riprende e la lamina resta inglobata nel nuovo favo.

Nella costruzione, le api, formano catene a gruppi compatti, all'interno la temperatura viene mantenuta sui 35° necessari per modellare la cera. L'illustrazione qui sottomostra come vengano modificati dalle api due strati di cera lavorati, uno a triangoli e l'altro a denti di sega. Le parti contraddistinte dal tratteggio obliquo vengono asportate, quelle a tratteggio incrociato vengono conservate. Il procedimento non consiste soltanto nell'aggiungere altra cera, ma anche nel togliere le parti inutili (da Darchen).

La costruzione del favo naturale ha inizio di solito in due-tre punti diversi, mentre gli angoli inferiori pendono liberamente e si restringono a forma di

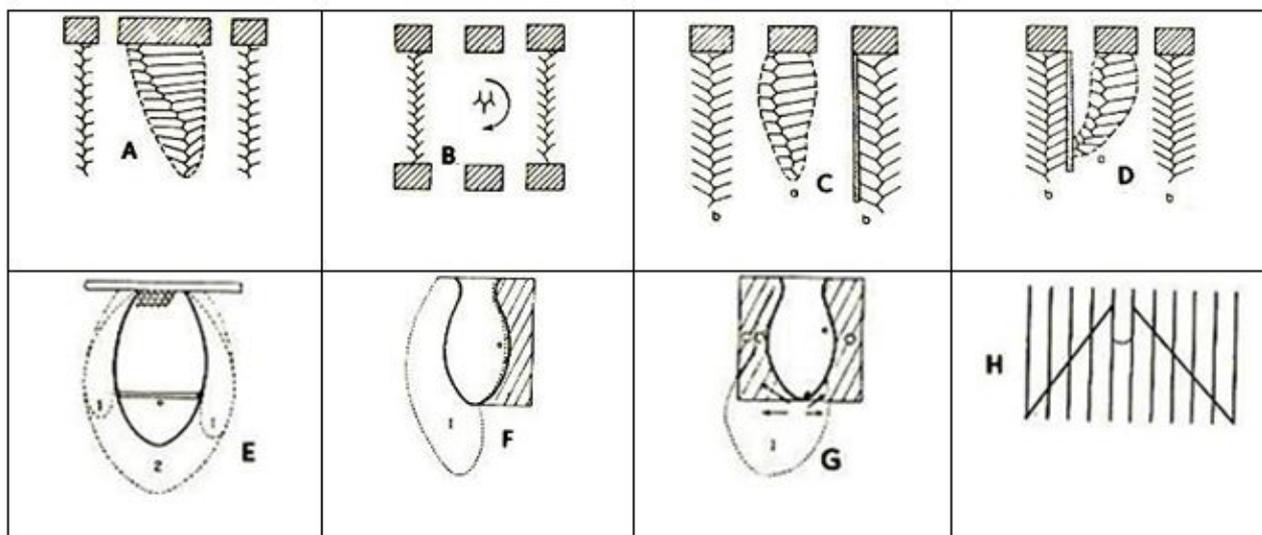


U. Il tracciato delle catene ceraie che, l'indomani, costruiranno i nuovi favi, indicati dalle linee punteggiate (da Darchen).

Nell'illustrazione alla pagina successiva, A, B, C, D si riferiscono al parallelismo dei favi ed al suo determinismo. In A e B le api inclinano verso destra un favo che è stato fissato troppo vicino al favo di sinistra. La profondità delle celle è del tutto anormale, perché le api cercano di ristabilire il parallelismo dei piani di apertura delle celle.

Nelle tre figure, un pezzo di cera sbozzato è stato fissato sul piano perpendicolare a quello dei favi e rigirato dalle api per ristabilire il parallelismo. I favi sono in sezione: visti di fronte in A, da sopra in B. Nelle figure C, il favo è stato fissato troppo a sinistra e uno schermo di cartone è stato messo sulla faccia anteriore del favo di destra. Il parallelismo viene ristabilito come nella figura immediatamente sopra. Nelle tre figure D, invece, lo schermo di cartone è stato fissato a sinistra sul favo più vicino. In questo caso il favo è deviato e fissato al cartone. Dunque la presenza della cera modellata in celle è indispensabile alla regolazione del parallelismo ed è il favo più vicino e non quello più lontano che regola il lavoro delle api.

In E, F, G, H è esaminata l'influenza di uno schermo di cartone fissato sulla faccia inferiore del favo. Nella terza fila di figure, un ostacolo, sotto forma di una sbarra longitudinale, è stato fissato alla parte inferiore della faccia di un favo (E). In F una lamina di metallo è stata fissata a destra sul pezzo di favo: essa inibisce completamente la costruzione, che continua solo a sinistra. In G, due lamine sono state fissate su due pezzi di favo. Si cerca di fare riprendere la costruzione praticandovi due buchi. Ma un buco (a destra) non è sufficiente, ce ne vogliono almeno due (a sinistra) posti l'uno vicino all'altro per riasse-



stare il coordinamento sociale e la costruzione. Nella figura H, una lamina di cera è stata piegata a V; in alto e in basso, le due facce del favo rese parallele di nuovo dalle api. Le api, non potendo raddrizzare la cera, la tirano enormemente in modo che i piani delle celle siano paralleli agli altri favi. Esse hanno spostato il fondo di una cella al livello dell'angolo della V, altrimenti la cella non avrebbe avuto la profondità sufficiente (ricavato da Darchen).

Tra i favi le api realizzano uno spazio di lavoro costituito da corridoi che le api mantengono attorno ai favi e tra di essi. Esso varia tra i 6 ed i 9 mm. Spazi più grandi sono riempiti dai favi, spazi più piccoli sono tappati col propoli (in basso a destra) che ha anche la funzione di tappare le fessure che possono ospitare microrganismi.

Darchen, scienziato e sperimentatore eminente, non ha affatto forzato le sue affermazioni. Sperimentalmente le api hanno dimostrato che sono in grado di associare un carattere a una quantità specifica, cioè di apprendere che un simbolo rappresenta un importo numerico e di svolgere semplici calcoli aritmetici, sono capaci di collegare i simboli ai numeri, cioè simbolizzare le quantità, associando correttamente un carattere ad un numero, e di comprendere persino il concetto di zero, che è, in effetti, una astrazione matematica.

Randolf Menzel ha scoperto non soltanto che le api dormono ma che, addirittura sognano. ●



## Un esperimento con le api

Vorrei raccontare al lettore un piccolo esperimento condotto insieme alle api, da cui si comprendono alcune delle loro straordinarie facoltà.

L'intercapedine tra i muri della mia casa al mare fu colonizzata dalle api: adesso vi abitano da più di 20 anni. Trovarono il modo di penetrarvi attraverso una fessura dell'infisso di una finestra. Il posto dà loro considerevoli vantaggi: la disponibilità dei fiori del giardino e dei giardini vicini, la fontanella, ma, più di tutto, il fatto che d'estate quella intercapedine è fresca, e non devono raffreddarla spruzzando acqua e ventilando con le ali, e d'inverno trattiene il calore che esse producono con il glomere (si raggruppano tutte assieme per produrre calore con la loro attività muscolare). Si tratta di un enorme risparmio di energia, dato che esse mantengono sempre costante la temperatura del loro nido a 34-36 °C.

Stabilimmo un rapporto di pacifica convivenza: loro usavano il cornicione del muro come pista di atterraggio, ma in più di 20 anni non hanno mai punto nessuno, anche se hanno l'abitudine di camminarmi addosso, a tre o quattro per volta, mentre sto sulla sdraio.

Per aiutarle, ogni mattina, alle ore 9, quando iniziano le loro attività di raccolta, mettevo un piattino di acqua zuccherata sul davanzale. Mi accorsi che avevano imparato l'ora in cui lo deponevo, infatti le trovavo sempre lì, a quell'ora, ad aspettare, dieci minuti prima, l'arrivo dell'acqua dolcificata, sempre con una precisione sorprendente. Provai a confonderle usando, invece del piattino bianco, uno blu; ma dopo un attimo di perplessità, passarono a succhiare l'acqua dolce. Misi poi nell'acqua qualche goccia di olio di gelsomino e notai che ne arrivavano molte di più, e dovetti aumentare

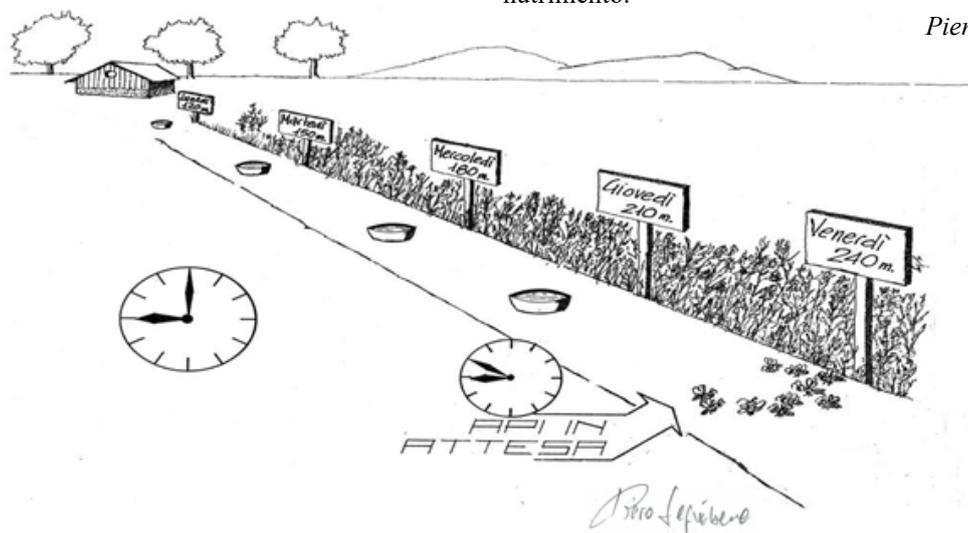
la fornitura di acqua dolcificata.

Le api non soltanto avevano memoria del luogo preciso dell'appuntamento, ma avevano anche un senso preciso del tempo. Non mi sarei meravigliato se su una delle loro zampe avessi visto un minuscolo orologio. Si poteva pensare che esse ricavano l'ora esatta dalla posizione del sole; ma anche quando la giornata era grigia ed il sole non era visibile, si orientavano col piano di oscillazione della luce polarizzata; comunque erano puntualissime.

Pensai: se spostavo la posizione del piattino, quanto tempo avrebbero impiegato per ritrovarlo? E quanto tempo avrebbero impiegato per imparare e ricordare una nuova posizione? Misi il piattino all'inizio della stradina del giardino, sempre alle ore 9. Dopo alcuni minuti lo avevano ritrovato. Ripetei l'esperimento, spostando il piattino di circa 30 metri lungo la stradina ed accadde la stessa cosa; in pochi minuti erano tutte a succhiare l'acqua zuccherata. Il giorno dopo lo spostai di altri 30 metri, e di nuovo lo ritrovarono. La cosa straordinaria accadde il giorno successivo: stavano aspettando a 30 metri di distanza dal posto del giorno prima. Avevano capito e misurato di quanto si sarebbe spostato il piattino, in che direzione si sarebbe spostato, ed erano andate ad aspettarlo alla successiva posizione, a 30 metri di distanza, con i dieci minuti di anticipo.

Le api avevano il senso della progressione delle distanze e della direzione, infatti si disposero in attesa esattamente 30 metri dopo l'ultimo punto, cioè dove sarebbe stata deposta la prossima ciotola di acqua zuccherata, ed avevano il senso del tempo, infatti precedettero la deposizione della ciotola di almeno 10 minuti, ed attesero l'ora esatta in cui sarebbe arrivato il nutrimento.

*Piero Sagnibene*



---

## Biodiversità e Musei: un progetto espositivo pluriennale

Simone Farina

---

The Natural History Museum of the University of Pisa has promoted a six-year program (2017-2022) by creating new rooms and reorganizing the displays dedicated to mammals. The intention is to make visitors aware of the theme of biodiversity and to inform them about the numerous species at risk of extinction. The installations have a great visual and emotional impact, involving the public and making them aware of the importance of protecting biodiversity.

Keywords: *Natural History Museums of the University of Pisa, Biodiversity*

La parola “biodiversità”, oggi di uso comune e spesso abusata nei media, è una parola relativamente recente, usata per la prima volta nel 1986 in un documento destinato al Congresso Americano. Su richiesta di un senatore, ne fu richiesto il preciso significato attraverso una procedura ufficiale culminata con l’intervento di una commissione tecnica ufficiale, l’OTA (U.S. Office of Technological Assessment), che nel 1987 la definì con queste parole<sup>1</sup>: “La biodiversità si riferisce alla varietà degli organismi viventi e alla variabilità che esiste sia tra di essi sia tra i complessi ecologici in cui si trovano. Essa può essere definita come numero e frequenza relativa di oggetti diversi, organizzati a molti livelli, dagli ecosistemi completi alle strutture chimiche che costituiscono la base dell’eredità. Perciò il termine comprende diversi ecosistemi, specie, generi e la loro abbondanza relativa”<sup>2</sup>.

Semplificando, con questa definizione si evince che la biodiversità, cioè la ricchezza della vita sulla Terra, non riguarda soltanto le specie esistenti, ma si articola su più livelli, dai singoli geni fino agli ecosistemi includendo anche l’abbondanza, la distribuzione e l’interazione tra le diverse componenti del sistema.

Il primo livello di biodiversità è quindi quello genetico, che rappresenta il totale del patrimonio genetico dato da tutti gli organismi che abitano la Terra. A livello di specie la diversità si può valutare non solo all’interno di ogni



1. Massa R, *Il secolo della Biodiversità*, Jaca Book, Milano 2005, 202.

2. OTA (U.S. Office of Technological Assessment),

*Technologies to maintain biological diversities*, U.S. Government Printing Office, Washington 1987.

singola specie, ad esempio come variabilità di ogni popolazione o numero e diversità delle diverse popolazioni che la compongono, ma anche come *varietà e ricchezza di specie*, misurabile come numero di specie presenti in una determinata zona, o di frequenza delle specie, cioè loro rarità o abbondanza in un territorio o in un habitat. Quest'ultimo significato, cioè la varietà di specie presenti sul nostro Pianeta, è ciò a cui generalmente pensa il grande pubblico quando si parla di biodiversità, considerando che è uno degli aspetti più visibili e certamente uno dei più importanti. Infine, la *diversità a livello di ecosistema* definisce il numero e l'abbondanza degli habitat e delle comunità (cioè l'insieme delle specie viventi in una determinata area) all'interno dei quali i diversi organismi vivono e si evolvono.

Un aspetto importante legato al tema della biodiversità è poi quello della conservazione e della salvaguardia. L'Unione Internazionale per la Conservazione della Natura (IUCN) ha istituito nel 1964 la "Lista Rossa" delle specie minacciate (IUCN Red List of Threatened Species) che rappresenta il più ampio database sullo stato di conservazione delle specie animali e vegetali presenti sul nostro Pianeta.

Le specie sono classificate secondo sette categorie, dal rischio minimo di estinzione fino all'estinzione totale, sulla base di alcuni criteri che vanno dal tasso di declino, alla consistenza della popolazione, all'area di distribuzione geografica. Secondo l'ultimo report del 2021, oltre 40.000 specie (tra animali, piante, funghi e protisti), pari al 28% circa delle specie che sono state valutate, sono minacciate di estinzione. Se consideriamo soltanto i vertebrati, possiamo constatare come il 26 % dei mammiferi, il 13 % degli uccelli, il 21% dei rettili, il 41 % degli anfibi ed il 14,7% dei pesci (la percentuale aumenta sensibilmente se consideriamo solo i pesci cartilaginei) siano minacciati di estinzione<sup>3</sup>.

3. <https://www.iucnredlist.org/resources/summary-statistics#Summary%20Tables>

Negli ultimi 50 anni la Terra è stata trasformata dall'esplosione del commercio globale, dei consumi e della crescita della popolazione umana che ha determinato un forte incremento dell'urbanizzazione. Queste tendenze di fondo stanno portando alla distruzione e al degrado della natura, nonché al sovrasfruttamento delle risorse naturali a un ritmo che non ha precedenti<sup>4</sup>.

Secondo il Living Planet Report, pubblicato ogni due anni dal WWF in collaborazione con la Zoological Society di Londra, l'Indice del Pianeta Vivente 2020 (Living Planet Index – LPI) evidenzia un decremento medio della consistenza del 68% delle popolazioni monitorate di mammiferi, uccelli, anfibi, rettili e pesci tra il 1970 e il 2016. Questo indice raccoglie i dati di abbondanza di quasi 21.000 popolazioni di vertebrati in tutto il mondo e gli elementi costitutivi di questo indicatore sono rappresentati da serie di dati sulle popolazioni di fauna selvatica. Le tendenze di queste popolazioni sono riunite nell'LPI per calcolare la variazione percentuale media delle dimensioni delle popolazioni. Un ulteriore dato che emerge è che la biodiversità diminuisce a ritmi diversi in luoghi diversi con l'esempio più sconcertante che riguarda le aree tropicali delle Americhe dove l'LPI registra una diminuzione del 94% tra il 1970 ed il 2016. Altrettanto negativa è la situazione degli ambienti di acqua dolce dove si registra una diminuzione dell'84%<sup>4</sup>.

La situazione attuale del Pianeta evidenzia l'urgenza di interventi significativi, coordinati da tutti i leader globali, con l'obiettivo di invertire questa tendenza attraverso azioni concrete di salvaguardia.

In quest'ottica, l'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile, sottoscritta nel 2015 dai governi dei 193 Paesi membri delle Nazioni Unite e approvata dall'Assemblea Generale dell'ONU, dovrebbe rappresentare una buona base da cui partire per costruire un mondo diverso e dare a tutti la pos-

4. Almond REA, Grooten M and Petersen T (a cura di) *WWF, Living Planet Report 2020. Bending the curve of biodiversity loss*, Gland (Switzerland), WWF, 2020.